



FACOLTÀ DI INGEGNERIA

CORSO DI LAUREA SPECIALISTICA IN

INGEGNERIA DEI VEICOLI TERRESTRI

Tesi di laurea

*Messa a punto di un simulatore di guida per l'analisi del
livello di vigilanza del conducente di un autoveicolo*

RELATORI

Prof. Ing. *Emilio Vitale*

Ing. *Francesco Frendo*

Ing. *Riccardo Bartolozzi*

CANDIDATO

Dario Guzzò

Anno Accademico 2007-2008

Ai miei genitori

INDICE

INTRODUZIONE	5
1 LA SICUREZZA STRADALE	7
1.1 DATI E STATISTICHE	8
1.2 SISTEMI DI SICUREZZA DI UN AUTOVEICOLO	14
1.2.1 <i>Principali sistemi di sicurezza attiva</i>	14
1.2.2 <i>Cenni ai sistemi di sicurezza passivi</i>	19
1.3 SISTEMI SPERIMENTALI PER IL RILEVAMENTO DELLO STATO DI FATICA	20
1.3.1 <i>Sistemi di monitoraggio intrusivi</i>	21
1.3.2 <i>Sistemi di monitoraggio non intrusivi</i>	23
1.3.3 <i>Il monitoraggio dello sterzo</i>	25
2 I SIMULATORI DI GUIDA	28
2.1 IMPIEGHI DI UN SIMULATORE DI GUIDA	29
2.2 STRUTTURE E SOTTOSISTEMI DI UN SIMULATORE	30
2.3 POSSIBILI LAYOUT DI UN SIMULATORE	34
3 SIMULATORE DEL DIMNP	39
3.1 LAYOUT	40
3.1.1 <i>Sistema di sterzo</i>	42
3.1.2 <i>La pedaliera</i>	49
3.1.3 <i>Il sedile</i>	55
3.1.4 <i>La grafica</i>	56
3.2 IL MODELLO	63

3.2.1	<i>Struttura del modello</i>	63
3.2.2	<i>Blocco “Dinamica del veicolo”</i>	66
3.2.3	<i>Blocco “Trasferimento di carico”</i>	73
3.2.4	<i>Blocco “Trasmissione”</i>	74
3.2.5	<i>Blocco “Impianto Frenante”</i>	75
3.2.6	<i>Blocco “Equilibrio dinamico ruote”</i>	77
3.2.7	<i>Blocco “Scorrimenti e Modello di Pneumatico”</i>	81
3.2.7.1	Scorrimenti	81
3.2.7.2	Velocità centro ruota	85
3.2.7.3	Modello di Pneumatico	87
3.2.7.4	Forza ruota-terreno	88
3.2.8	<i>Blocco “Modello di Motore”</i>	88
3.2.8.1	Blocco “Motore”	88
3.2.8.2	Blocco “Frizione”	92
3.2.8.3	Logica di controllo	95
3.2.9	<i>Blocco “Traiettoria”</i>	96
3.3	SALVATAGGIO DATI	98
3.3.1	<i>Requisiti del software</i>	98
3.3.2	<i>I Segnali</i>	99
3.3.3	<i>Il Receiver:</i>	103
3.3.3.1	Schermata principale	103
3.3.3.2	I Livello	104
3.3.3.3	II Livello	106
3.3.3.4	Il Contatore e lo Stop Simulation	108
3.3.3.5	Procedura nel “Block Properties”	109
4	SVOLGIMENTO PROVE PRELIMINARI	112
4.1	PROTOCOLLO DI PROVA	113
4.2	ANALISI DEI DATI	114
5	CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI	119
	BIBLIOGRAFIA	121
	INDICE DELLE FIGURE	124
	INDICE DELLE TABELLE	128

INTRODUZIONE

Secondo statistiche ufficiali, l'eccessivo affaticamento è la causa di circa l'1% degli incidenti gravi. Tuttavia, gli esperti ritengono che le cifre reali per questo tipo d'incidente siano notevolmente più elevate, in quanto, spesso nella ricostruzione non è possibile riscontrare e dimostrare una precedente condizione di stanchezza. Secondo gli studi europei, dal 24 al 33 % di tutti gli incidenti stradali mortali sono da ricondurre a un sovraffaticamento del guidatore.

Oltre alla mancanza di riposo, è anche la monotonia nella guida automobilistica a figurare tra le cause più frequenti del pericoloso colpo di sonno al volante. Due terzi dei casi di stanchezza avvengono nelle ore notturne, uno su due con bassa densità di traffico. Secondo l'opinione degli scienziati, il rischio d'incidente aumenta in corrispondenza di tragitti a lungo raggio effettuati in condizioni costanti, perché, in queste circostanze la diminuita attenzione del guidatore e la monotonia aumentano ulteriormente il rischio di addormentarsi.

Nel contesto generale sopra descritto è da inquadrarsi il presente lavoro di tesi svolto presso il *Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Nucleare e della Produzione dell'Università di Pisa*.

Il nucleo centrale della tesi è costituito dalla messa a punto di un simulatore di guida da impiegarsi per lo studio e lo sviluppo di un sistema di sicurezza attivo contro gli stati di calo di attenzione. Il dispositivo di sicurezza dovrà valutare l'affaticamento del guidatore attraverso l'elaborazione di dati provenienti direttamente dalle sue azioni senza l'ausilio di dispositivi di natura intrusiva.

Il simulatore permetterà di ricreare un ambiente di guida virtuale, del tutto sicuro per il conducente, in cui elaborare e acquisire in tempo reale la gran mole di segnali che ormai, grazie all'ingente utilizzo di elettronica, sono disponibili sugli autoveicoli di tutte le categorie.

In questo lavoro si è cercato di realizzare, o per meglio dire, completare e rendere operativo il modello matematico di veicolo sviluppato in ambiente *Matlab\Simulink*, oggetto di studio anche di altri lavori di tesi e dottorato.

È stato, inoltre, necessario sviluppare un software, sempre in ambiente *Matlab\Simulink*, in grado di gestire, campionare e memorizzare i dati di una simulazione.

Oltre allo sviluppo software, configurare la postazione di guida anche a livello hardware ha richiesto notevole impegno in modo da rendere il tutto assimilabile alla realtà per ottenere un rilevante coinvolgimento dell'individuo sottoposto alla guida simulata.

1 LA SICUREZZA STRADALE

Nel piano nazionale ed europeo della sicurezza stradale un'attenzione particolare è riservata anche ai comportamenti a rischio: guida in stato di ebbrezza o sotto l'effetto di sostanze psicotrope, mancato rispetto di norme del codice, guida in condizioni di affaticamento.

Negli anni '80 dello scorso secolo, alcuni studi cercarono di quantificare il problema basandosi sui verbali della polizia in cui era espressamente indagato il colpo di sonno al volante, il risultato fu di ritrovare percentuali molto più basse di quelle attese. Il fatto però interessante osservato fu che una grande quantità d'incidenti vedeva coinvolto un solo autoveicolo.

Tutti concordarono nell'affermare che le basse percentuali attribuite al colpo di sonno erano dovute alla difficoltà di rilevare e misurare direttamente sulla strada la sonnolenza del conducente.

Proprio partendo dal presupposto che la sonnolenza dichiarata sulla strada è probabilmente solo una frazione di quella realmente responsabile di una certa quantità di incidenti, studi e statistiche più moderne, che risentono di una maggiore sensibilizzazione e conoscenza del problema da parte di utenti della strada e agenti di polizia, hanno attribuito indirettamente al colpo di sonno al volante o alla disattenzione che lo precede tutti gli incidenti in cui non erano individuabili altre possibili cause e nei quali la dinamica dell'incidente e la mancanza di segni di frenata sull'asfalto facevano supporre una momentanea diminuzione dell'attenzione.

Dagli studi è stato comunque rilevato che gli incidenti legati al colpo di sonno, anche se riguardanti principalmente una sola autovettura, sono mediamente più gravi di quelli dovuti ad altre cause, probabilmente per una maggiore velocità dell'auto e ad una minore capacità di auto protezione da parte del conducente.

1.1 Dati e Statistiche

Ogni giorno in Italia si verificano in media 652 incidenti stradali, che provocano la morte di 16 persone e il ferimento di altre 912 (1).

Nel complesso, *nell'anno 2006* sono stati rilevati 238.124 incidenti stradali, che hanno causato il decesso di 5.699 persone.

Il quadro completo della situazione si può ottenere osservando la Tabella 1.1 in cui sono messi a confronto due anni, il 2005 e il 2006, evidenziando un lieve diminuzione del numero di incidenti, dei morti e dei feriti.

Tabella 1.1: Incidenti stradali, morti e feriti.

	Valori assoluti		Variazioni percentuali 2005/2004
	2005	2006	
Incidenti	240.011	238.124	-0,8
Morti	5.818	5.669	-2,6
Feriti	334.858	332.955	-0,6

Va sottolineato anche che in questo periodo il parco veicolare è cresciuto del 13,7% e il volume di circolazione, valutato sulle percorrenze autostradali, è aumentato del 19,9%. Considerato tutto, la situazione potrebbe ritenersi soddisfacente se non fosse che l'Unione Europea ha fissato, nel documento del 13 settembre 2001, l'obiettivo di dimezzare il numero di morti sulle strade entro il 2010 rispetto la base dei dati rilevati nel 2000.

Alla fine del 2005, il bilancio intermedio ha riportato che solo pochi paesi hanno già ridotto in misura superiore al 25% il numero di vittime della strada. In Italia, dove alla fine del 2005 si registrava una riduzione rispetto al 2000 del 17,6%, nel numero di decessi per incidente, è proseguito il trend decrescente an-

che nel 2006, segnando un ulteriore calo del 2,6%, portando così il decremento complessivo al 19,6%.

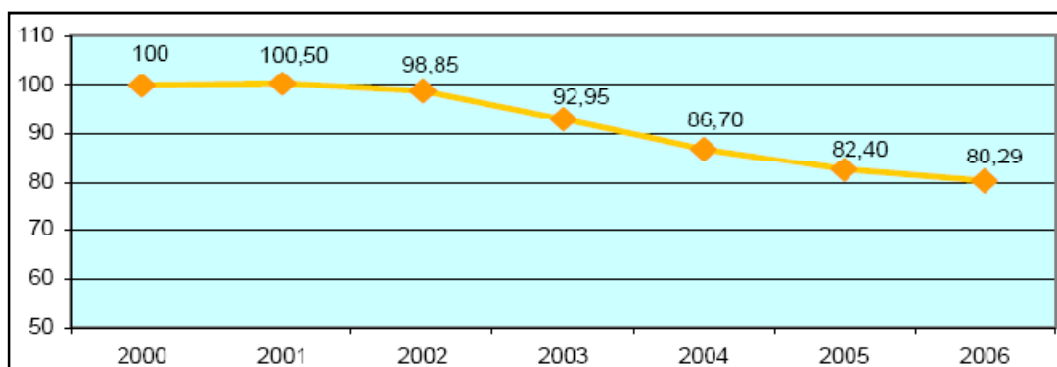


Figura 1.1: Morti in incidenti stradali (Base 2000=100).

Tale risultato, seppur apprezzabile, non è sufficiente per il raggiungimento dell'obiettivo europeo: permanendo l'attuale trend è presumibile che si arrivi al 2010 con una diminuzione delle vittime pari a circa il 30%. Per raggiungere l'obiettivo, si dovrebbe, negli anni a venire, ridurre la mortalità di un tasso medio non inferiore al 9,5% annuo.

Dall'analisi della Tabella 1.2 è possibile individuare l'ambito stradale in cui il rischio di incidente è più elevato e quale ha il più alto indice di mortalità.

Tabella 1.2: Incidentalità secondo l'ambito stradale.

AMBITI STRADALI	Incidenti	Morti	Feriti	Indice di mortalità (a)	Indice di lesività (b)
Strade urbane	182.177	2.494	242.042	1,3	132,8
Autostrade	13.319	590	22.646	4,4	170,0
Altre strade	42.628	2.585	68.267	6,1	160,1
Totale	238.124	5.669	332.955	2,4	139,4

(a) Rapporto tra il numero dei morti ed il numero degli incidenti, moltiplicato 100
(b) Rapporto tra il numero dei feriti e il numero degli incidenti, moltiplicato 100.

L'indice di mortalità mostra che gli incidenti più gravi avvengono sulle strade extraurbane mentre gli incidenti su strade urbane sono meno gravi.

Con riferimento alla rete extra urbana non autostradale si evidenziano, nella Tabella 1.3, i diversi livelli di mortalità secondo il tipo di strada: le strade a una carreggiata a doppio senso presentano un indice superiore del 63% rispetto alle strade a doppia carreggiata.

Tabella 1.3: Incidentalità su rete extra urbana secondo il tipo di strada.

TIPO DI STRADA	Incidenti	Morti	Indice di mortalità (a)
Una carreggiata a senso unico	2.105	68	3,23
Una carreggiata a doppio senso	29.834	2.052	6,88
Doppia carreggiata	4.109	173	4,21
Più di due carreggiate	113	3	2,65
Totale	36.161	2.296	6,35

(a) Rapporto tra il numero dei morti ed il numero degli incidenti, moltiplicato 100

Per una migliore visualizzazione del problema sicurezza stradale può essere utile addentrarsi nelle statistiche per evidenziare i mesi, giorni della settimana e ore del giorno più a rischio.

Tabella 1.4: Incidenti stradali e morti – dati mensili.

MESI	Incidenti		Morti	
	Valori assoluti	Media giornaliera	Valori assoluti	Media giornaliera
Gennaio	17.068	551	402	13
Febbraio	15.922	569	356	13
Marzo	18.120	585	380	12
Aprile	19.427	648	483	16
Maggio	22.382	722	489	16
Giugno	22.711	757	539	18
Luglio	23.197	748	585	19
Agosto	18.087	583	494	16
Settembre	20.469	682	487	16
Ottobre	21.364	689	512	17
Novembre	20.145	672	450	15
Dicembre	19.232	620	492	16
Anno	238.124	652	5.669	16

Come evidenziato nella Tabella 1.4 il maggior numero di incidenti si è verificato a luglio mentre giugno risulta il mese con la media giornaliera più alta. Febbraio costituisce il mese con il più basso numero di incidenti in valore assoluto, mentre gennaio presenta la media giornaliera più contenuta.

Per quanto riguarda i giorni della settimana il venerdì si conferma il giorno in cui si concentra il maggior numero di incidenti, circa il 15,4% del totale. La frequenza più elevata di morti si osservano il sabato e la domenica mentre il venerdì e il sabato si registrano i valori più alti dei feriti.

Tabella 1.5: Incidenti, morti e feriti per giorno della settimana.

GIORNI DELLA SETTIMANA	Valori assoluti			Composizioni percentuali		
	Incidenti	Morti	Feriti	Incidenti	Morti	Feriti
Lunedì	34.429	784	46.911	14,4	13,8	14,1
Martedì	34.783	707	46.605	14,6	12,5	14,0
Mercoledì	34.742	666	46.330	14,6	11,7	13,9
Giovedì	36.041	714	48.341	15,1	12,6	14,5
Venerdì	36.574	803	49.796	15,4	14,2	15,0
Sabato	34.181	991	50.230	14,4	17,5	15,1
Domenica	27.374	1.004	44.746	11,5	17,7	13,4
Totale	238.124	5.669	332.959	100,0	100,0	100,0

L'indice di mortalità per giorno della settimana presenta il valore massimo la domenica mentre scende all'1,9% il mercoledì. Complessivamente l'indice di mortalità nel fine settimana risulta pari a 3,2 morti per cento incidenti.

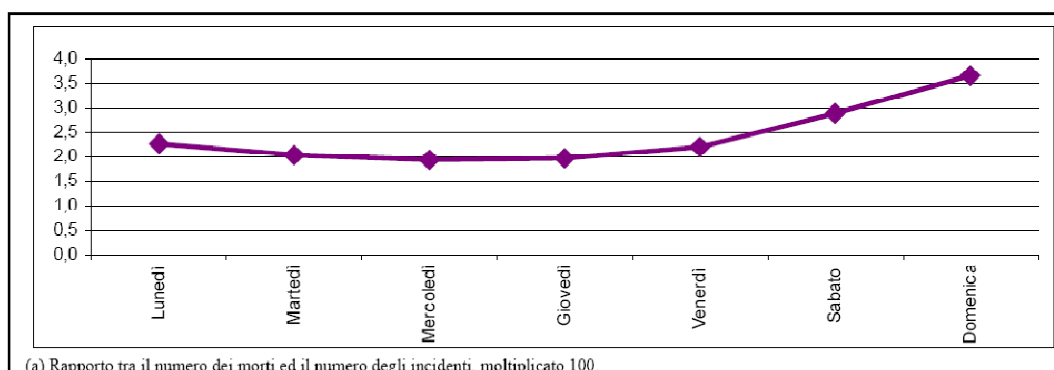


Figura 1.2: Indice di mortalità per giorno della settimana.

Analizzando la distribuzione degli incidenti durante l'arco della giornata (Tabella 1.6 e Figura 1.3), si possono confermare gli andamenti già noti: un primo picco si riscontra tra le 8 e le 9 del mattino, probabilmente legato all'elevata circolazione dovuta agli spostamenti casa-ufficio e casa-scuola, un secondo picco si osserva tra le ore 12 e le 13 in corrispondenza dell'uscita dalle scuole e in relazione alla mobilità di alcune categorie che usufruiscono dell'orario spezzato, infine, il picco più elevato si registra intorno alle 18, quando si cumulano gli effetti dell'incremento della circolazione dovuto agli spostamenti dal luogo di lavoro verso le abitazioni, con l'aggiunta di fattori psico-sociali quali lo stress da lavoro e le difficoltà di percezione visiva dovuta alla riduzione della luce naturale non ancora sostituita da quella artificiale.

Tabella 1.6: Incidenti, morti e feriti per ora del giorno.

ORE DEL GIORNO	Incidenti	Morti	Feriti	Indice di mortalità
1	6.318	246	10.344	3,9
2	3.796	168	6.230	4,4
3	2.975	135	4.633	4,5
4	2.659	151	4.339	5,7
5	2.437	142	3.792	5,8
6	3.031	168	4.371	5,5
7	5.650	178	7.578	3,2
8	13.086	204	17.062	1,6
9	13.368	217	17.308	1,6
10	12.823	238	16.701	1,9
11	13.691	223	18.126	1,6
12	15.182	275	20.287	1,8
13	15.097	245	20.461	1,6
14	13.583	268	18.709	2,0
15	13.145	310	18.169	2,4
16	14.486	294	20.164	2,0
17	15.717	345	22.035	2,2
18	18.508	384	25.675	2,1
19	16.348	366	22.915	2,2
20	11.628	276	16.382	2,4
21	7.913	242	11.709	3,1
22	6.162	215	9.446	3,5
23	5.046	188	9.071	3,3
24	3.211	150	5.088	4,7
Ora imprecisata	1.664	41	2.360	2,5
Totale	238.124	5.669	332.955	2,4

(a) Rapporto tra il numero dei morti ed il numero degli incidenti, moltiplicato 100.

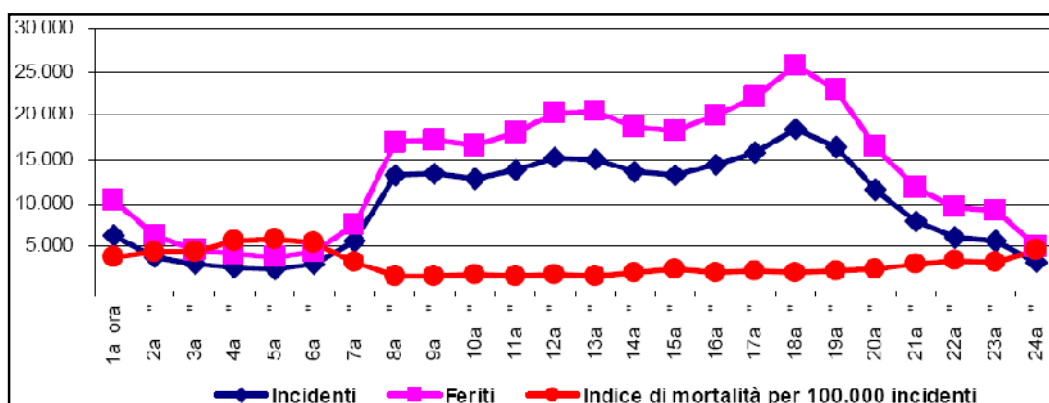


Figura 1.3: Incidenti stradali e indice di mortalità per ora del giorno.

È da sottolineare che l'indice di mortalità si mantiene superiore alla media nell'arco di tempo che va dalle 21 alle 7 del mattino raggiungendo il valore massimo intorno alle ore 5 con 5,8 decessi ogni 100 incidenti. In quest'arco di tempo l'indice di mortalità è mediamente pari a 4 morti ogni 100 incidenti a fronte di un valore medio sulle 24 ore di 2,4 morti ogni 100 incidenti.

Per finire la carrellata di dati è riportata nella Tabella 1.7 l'analisi riassuntiva delle cause accertate o presunte di incidente.

Tabella 1.7: Cause accertate o presunte di incidente stradale.

DESCRIZIONE CAUSE	Valori assoluti	Composizione percentuale
Procedeva senza rispettare le regole della precedenza o il semaforo	53.326	17,74
<i>di cui:</i>		
Procedeva senza rispettare lo stop	17.039	5,67
Procedeva senza dare la precedenza al veicolo proveniente da destra	15.665	5,21
Procedeva senza rispettare il segnale di dare precedenza	16.982	5,65
Procedeva senza rispettare le segnalazioni semaforiche o dell'agente	3.640	1,21
Procedeva con guida distratta o andamento indeciso	46.190	15,36
Procedeva con velocità troppo elevata	38.365	12,76
<i>di cui:</i>		
Procedeva con eccesso di velocità	36.432	12,12
Procedeva senza rispettare i limiti di velocità	1.887	0,63
Procedeva senza mantenere la distanza di sicurezza	31.270	10,40
Manovrava irregolarmente	18.360	6,11
Svoltava irregolarmente	9.188	3,06
Procedeva contromano	7.544	2,51
Sorpassava irregolarmente	6.645	2,21
Ostacolo accidentale	6.401	2,13
Veicolo evitato	6.377	2,12
Non dava la precedenza al pedone sugli appositi attraversamenti	5.246	1,74
Buche, ecc. evitato	5.220	1,74
Procedeva non in prossimità del margine destro della carreggiata	3.517	1,17
Veicolo fermo in posizione irregolare urtato	3.165	1,05
Altre cause relative al comportamento	7.495	2,49
Cause imputabili al comportamento scorretto del conducente nella circolazione	284.629	94,67
Anormale per ebbrezza da alcool	4.246	1,41
Anormale per improvviso malore	678	0,23
Anormale per ingestione di sostanze stupefacenti o psicotrope	433	0,14
Anormale per sonno	400	0,13
Abbagliato	120	0,04
Anormale per condizioni morbose in atto	75	0,02
Altre cause relative allo stato psico-fisico del conducente	57	0,02
Cause imputabili allo stato psico-fisico del conducente	6.009	2,00
Rottura o insufficienza dei freni	241	0,08
Scoppio o eccessiva usura di pneumatici	191	0,06
Rottura o guasto dello sterzo	74	0,02
Mancanza o insufficienza dei fari o delle luci di posizione	66	0,02
Altre cause relative al veicolo	62	0,02
Distacco di ruota	51	0,02
Cause imputabili a difetti o avarie del veicolo	685	0,23
Comportamento scorretto del pedone	9.301	3,09
Pedone anormale per ebbrezza da alcool	27	0,01
Altre cause relative allo stato psico-fisico del pedone	11	0,00
Cause imputabili al pedone	9.339	3,11
Totale	300.662	100,00

1.2 Sistemi di sicurezza di un autoveicolo

Dai primi progressi in campo automobilistico avvenuti con miglioramenti sostanziali riguardanti gli impianti frenanti si è passati a un ampio utilizzo dell'elettronica in grado di soccorrere anche il pilota meno esperto nelle condizioni di guida più estreme.

I dispositivi di sicurezza automobilistica sono distinti in sistemi di sicurezza attiva e passiva e molti di essi sono diventati obbligatori, di conseguenza forniti di serie al momento dell'acquisto di un'autovettura.

Con il termine sicurezza attiva si usa identificare tutta una serie di dispositivi, installati a bordo del veicolo, dedicati alla prevenzione degli incidenti; i sistemi passivi, invece, sono costituiti da protezioni aventi lo scopo di limitare i danni fisici agli occupanti dell'abitacolo in caso di incidente.

Nei seguenti paragrafi sono riportati con una breve descrizione i vari sistemi di sicurezza che i vari autoveicoli possono montare di serie o come optional.

1.2.1 Principali sistemi di sicurezza attiva

Electronic Stability Program (ESP)

Si tratta di un sistema per il controllo della stabilità dell'automobile, che agisce in fase di sbandata, regolando la potenza motore e frenando le singole ruote con differente intensità in modo tale da stabilizzare l'assetto della vettura.

Tale dispositivo è efficace nel correggere sia eventuali situazioni di sovrasterzo o sottosterzo, che si possono verificare in caso di errata impostazione di una curva, sia in caso di improvvisa deviazione di traiettoria.

L'ESP si avvale di alcune informazioni che arrivano dalla vettura stessa in movimento: 4 sensori di velocità integrati nel mozzo ruota comunicano alla centralina la velocità istantanea di ogni singola ruota, 1 sensore di angolo di sterzo comunica la posizione del volante e quindi le interazioni del guidatore, 3 accelerometri necessari per il calcolo delle forze sul veicolo.

La centralina può intervenire sia sull'alimentazione del motore, riducendo la coppia, che sulle singole pinze freno, correggendo la dinamica del veicolo

(Figura 1.4). In particolar modo, in caso di sottosterzo i freni intervengono sulla ruota posteriore interna alla curva, mentre in casi di sovrasterzo è frenata la ruota anteriore esterna alla curva, in modo tale da creare un momento opposto alla sbandata.

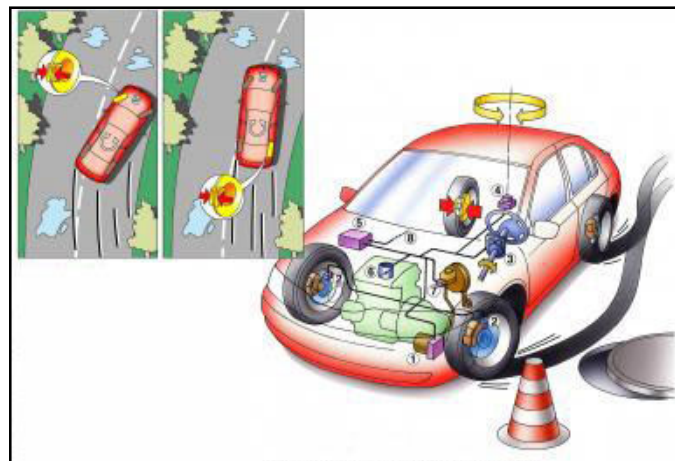


Figura 1.4: Principio di funzionamento dell'ESP.

Dispositivi di guida automatica

I dispositivi di questa categoria vengono anche denominati Cruise Control, questo rappresenta un sistema elettronico che permette di regolare automaticamente la velocità di un'autovettura.

Esistono due tipi di cruise control:

- Cruise control semplice
- Adaptive cruise control

Il primo mantiene la velocità impostata dal guidatore in maniera statica, il secondo, invece, può diminuire la velocità impostata nel caso in cui degli ostacoli si trovino di fronte alla vettura. Il guidatore è, così, sicuro di mantenere la distanza dalle vetture che lo precedono nel margine di sicurezza.

La distanza dal veicolo che precede è misurata tramite un sensore che proietta un raggio laser riflesso dall'ostacolo. La centralina calcola il tempo impiegato all'impulso laser a percorrere lo spazio che separa il veicolo dall'ostacolo.

Il vantaggio che offrono questi dispositivi di tipo "adaptive" sta nel fatto che diminuiscono in maniera considerevole gli spazi di frenata in caso di emergenza, anticipando di gran lunga i tempi di reazione del guidatore.

Dispositivi antibloccaggio in frenata

I tradizionali dispositivi di assistenza alla frenata (es. servofreni) hanno come unico scopo quello di incrementare la forza esercitata dal guidatore tramite il pedale. Oggi il sistema è molto più complesso anche sulle macchine di bassa categoria, infatti, si cerca con l'ausilio dell'elettronica di evitare il bloccaggio delle ruote con conseguente slittamento di queste sull'asfalto, il verificarsi di questo evento sarebbe molto rischioso per il pilota medio, poiché, in queste circostanze il veicolo aumenterebbe gli spazi di frenata oltre ad essere difficilmente gestibile per la perdita di direzionalità, evento indesiderabile in condizioni di emergenza. Da non sottovalutare anche l'aspetto economico, infatti, il bloccaggio delle ruote porterebbe a un'usura dello pneumatico più accentuata e non uniforme con un conseguente prematuro cambio degli stessi.

I moderni sistemi di assistenza alla frenata sono provvisti di sensori su ogni ruota, in maniera da monitorare la condizione dinamica di queste (Figura 1.5).

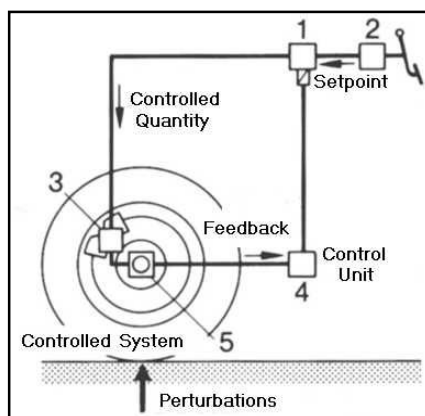


Figura 1.5: Circuito regolazione ABS (1-gruppo idraulico, 2-pompa di comando, 3-cilindro del freno, 4-centralina elettronica, 5-Sensore velocità rotazione ruote).

Il sistema non interferisce con la normale azione frenante, poiché, quando un sensore invia alla centralina un segnale che indica lo slittamento dello pneumatico, questa agisce sull'apertura di una valvola che permette di regolare automaticamente il valore della pressione agente su quella ruota ripristinando la condizione di rotolamento ottimale.

I sistemi appartenenti a questa categoria sono noti con il nome di ABS (Antilock Braking System) ormai divenuto per legge un dispositivo di sicurezza di serie per tutti i veicoli a 4 ruote.

Ripartitori di frenata

Questo tipo di dispositivo funziona in maniera integrata con l'ABS. Tali sistemi sono noti commercialmente con il nome di EBD (Electronic Brake Distribution).

Durante la frenata si ha trasferimento di carico verticale sulle ruote anteriori dell'autovettura, se l'intensità della frenata è eccessiva gli effetti possono essere molto amplificati con conseguenze negative per la stabilità del veicolo.

Con un'eccessiva decelerazione, infatti, si giungerebbe all'inevitabile bloccaggio delle ruote posteriori che potrebbe portare al testacoda del veicolo in curva.

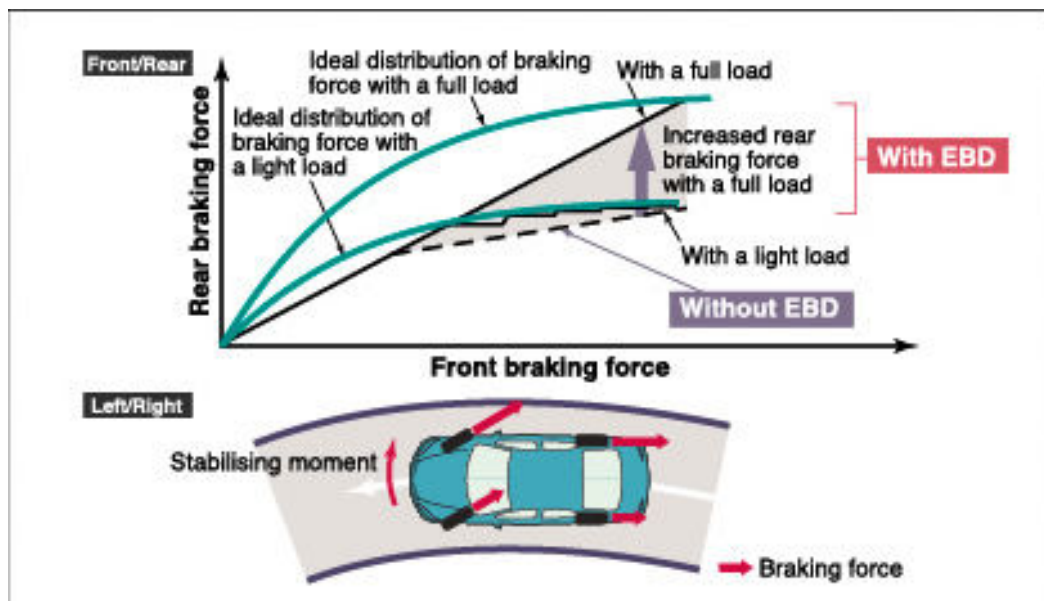


Figura 1.6: Funzionamento EBD.

Il ripartitore di frenata interviene diminuendo la forza frenante alle ruote meno cariche evitandone il bloccaggio.

Sistemi antipattinamento

Evitare lo slittamento delle ruote motrici in partenza o, comunque, in accelerazione può essere vantaggioso sia per garantire una maggiore vita degli pneumatici, evitando stress inutili e consumi non uniformi del battistrada, sia per aumentare le prestazioni del veicolo.

Il controllo è operato dalla centralina e regola la quantità di combustibile da iniettare o l'apertura della valvola a farfalla. In commercio esistono diversi sistemi con nomi più svariati secondo la casa automobilistica che lo monta, si citano a titolo di esempio l'ETC (Electronic Traction Control) e il TCS (Traction Control System).

Il controllo della centralina può essere operato anche sui freni limitando la coppia motrice introducendo sulle ruote una coppia frenante, si ha così l'ASR (Anti Slip Regulation) o l'ETS (Electronic Traction System). Questa logica di controllo, come facilmente intuibile, è meno conveniente dal punto di vista dei consumi.

Sospensioni attive

In questa categoria rientrano i sistemi di controllo della rigidità e dello smorzamento delle sospensioni. Noti con il nome di AAS (Adaptive Air Suspensions) o di CDC (Continuous Damping Control).

I sistemi attualmente più diffusi consentono di effettuare il "setting" delle sospensioni scegliendo una taratura sportiva o confortevole.

Dei sensori misurano l'accelerazione verticale della ruota, questi dati sono gestiti dalla centralina che opererà poi variando la costante di smorzamento dell'ammortizzatore favorendo il corretto contatto tra il fondo stradale e il battistrada.

Lane Keeping, LWS, LCS

I sistemi di Lane Keeping, sfruttando la segnaletica orizzontale tramite una telecamera digitale, sono in grado di riconoscere i limiti della carreggiata, una centralina elabora i dati riconoscendo nelle manovre imposte dal conducente condizioni di potenziale pericolo. In condizioni di riconosciuta pericolosità della ma-

novra entra in gioco il Lane Warning System che avverte il conducente tramite segnali acustici o attraverso un moto vibratorio del volante.

Il Lane Change Support, invece, è un dispositivo che assiste il conducente nelle manovre di cambio corsia monitorando i punti ciechi, non raggiungibili con il solo impiego dei retroproiettori.

1.2.2 Cenni ai sistemi di sicurezza passivi

I sistemi finora elencati sono rappresentanti della sicurezza attiva negli autoveicoli. In parallelo a questi sono previsti altri sistemi definiti “passivi”, il cui scopo è di limitare i danni alle persone in caso di incidente.

Il precedente paragrafo si proponeva, come secondo fine, di illustrare la sensoristica presente a bordo di un veicolo. Come visto, i diversi sensori sono legati alla sicurezza attiva, ma per una più completa trattazione si evidenzieranno di seguito anche i principali aspetti della sicurezza passiva senza entrare particolarmente nel dettaglio.

Cinture di sicurezza

La cintura di sicurezza è un sistema di ritenuta individuale degli occupanti dell’abitacolo del veicolo. In pratica sono dei dispositivi ancorati all’interno del veicolo che, in caso di urto, tengono il corpo degli occupanti legato al sedile, evitandone l’impatto contro le strutture interne e le proiezioni fuori dall’abitacolo.

Airbag

È costituito da una camera d’aria che, al momento di un violento urto, è gonfiata da una piccola carica esplosiva in modo da evitare che la testa e altre parti vitali degli occupanti colpiscano elementi contundenti dell’abitacolo.

L’airbag ha l’inconveniente di poter essere usato una sola volta e dopo il suo scoppio deve essere sostituito.

Esistono diverse tipologie di airbag in modo da essere posti in differenti parti del veicolo, si hanno così i classici airbag per guidatore e passeggeri, airbag

posteriori e a tendina fino agli ultimi ritrovati consistenti in piccoli dispositivi situati sotto il volante che salvaguardano le gambe del guidatore.

Altri accorgimenti

Per la protezione degli occupanti sono presenti nelle portiere delle barre antintrusione che hanno lo scopo di limitare la penetrazione di volumi esterni nell'abitacolo.

La scocca è progettata in modo da assorbire gli urti attraverso la deformazione progressiva fino all'abitacolo, il quale dovrebbe costituire una cellula quasi indeformabile.

I piantoni di sterzo sono collassabili o comunque divisi in più alberi, in modo da evitare che, in caso di impatto, penetrino all'interno dell'abitacolo con conseguenze fisiche gravi per il guidatore.

1.3 Sistemi sperimentali per il rilevamento dello stato di fatica

La fatica del conducente, come sottolineato nell'introduzione alla tesi, è una delle principali cause di incidenti.

Lo sviluppo di un sistema di monitoraggio installato a bordo del veicolo, che esamini le performance di guida, identificando il manifestarsi di episodi di affaticamento, potrebbe potenzialmente assistere i conducenti.

Un sistema di questo tipo rientrerebbe nella categoria di dispositivi attivi per la sicurezza.

Per l'accertamento dello stato generico di affaticamento, possono essere adottati metodi differenti di monitoraggio (2):

- Alterazioni fisiche e psicofisiche del conducente, basate su informazioni provenienti direttamente dal corpo del guidatore (3), (4), (5);
- Risposte del conducente a stimoli esterni, ma hanno il difetto di distrarre il conducente;
- Analisi delle operazioni del conducente (6), (7), (8), (9);

-
- Condotta del veicolo sulla strada (10), (11), (12).

Le categorie finora evidenziate possono a loro volta essere raggruppate in due insiemi la cui appartenenza all'uno o all'altro dipende dall'intrusività o meno della soluzione.

1.3.1 Sistemi di monitoraggio intrusivi

Nella categoria dei sistemi intrusivi possono essere compresi tutti quei sistemi che presentano una certa interferenza con la persona sottoposta al monitoraggio. Questo tipo di sistema è necessariamente utilizzato qualora siano di interesse i parametri fisiologici.

Di seguito si evidenzieranno alcune variabili la cui acquisizione è legata alla presenza di una zona di contatto tra il soggetto monitorato e il sistema di sorveglianza (4), (13).

Elettrocardiogramma (ECG)

Esiste un legame tra la frequenza del battito cardiaco e lo stato di vigilanza dell'individuo, infatti, gli stati di sonnolenza sono caratterizzati da una bassa frequenza cardiaca. È necessario settare dei valori di soglia per ogni individuo, sia per i casi di scarsa vigilanza, che per la condizione di sonnolenza incipiente.

Il metodo risulta molto affidabile, perché la relazione tra pulsazione cardiaca e sonnolenza è all'incirca lineare e valida in tutte le circostanze di monitoraggio.

Elettroencefalogramma (EEG)

La stanchezza e la perdita di concentrazione sono strettamente connesse con la variazione dell'attività cerebrale. L'EEG traccia onde che rientrano in una determinata banda frequenziale, alcuni studi (3) (12) hanno accertato che la presenza di queste onde e la stanchezza del conducente sono effettivamente legate biunivocamente. In particolare la presenza, anche con valori modesti, di onde con banda frequenziale 4-8 Hz sono sufficienti ad accertare l'assopimento.

Elettrooculogramma (EOG) (13)

Il sistema consiste nel monitorare il movimento degli occhi e delle palpebre stabilendo una relazione con lo stato di vigilanza del conducente. La prassi comune tiene sotto controllo la frequenza e la velocità di chiusura delle palpebre oltre all'ampiezza di apertura dell'occhio.

Frequenza della respirazione

Il sistema si avvale di un elemento piezoelettrico sotto la cintura di sicurezza. Analogamente a quanto accade per il battito cardiaco, la frequenza della respirazione è legata allo stato di vigilanza dell'individuo, manifestando frequenze basse per condizioni di sonnolenza avanzate.

Movimenti della testa

Il conducente affaticato tende ad avere delle oscillazioni del capo, se lo stato tende all'assopimento la testa tende a essere reclinata in avanti e in qualche caso rimane anche immobile. Si necessita per la misurazione di un accelerometro a tre assi.

Tutti i sistemi sinora visti, come detto, rientrano nell'ambito delle applicazioni intrusive, come tali sono poco idonei all'implementazione diretta negli autoveicoli, il loro utilizzo risulta, però, essere un valido supporto alle attività di laboratorio in cui si fa uso di simulatori di guida.

Nella Tabella 1.8 è facile notare come i sistemi più affidabili siano anche i meno pratici in quanto, come già accennato, sono oggetto di disturbo e distrazione per il conducente.

Tabella 1.8: Confronto tra i sistemi di monitoraggio intrusivi.

MONITORAGGIO		
PARAMETRI PSICOFISICI		
<i>TIPOLOGIA MISURA</i>	<i>ACCURATEZZA</i>	<i>PRATICITA'</i>
Onde cerebrali	Molto Buona	Buono
Battito cardiaco	Molto Buona	Sufficiente
Respiro	Sufficiente	Sufficiente
PARAMETRI FISICI		
Movimento della testa	Buona	Insufficiente
Postura	Buona	Sufficiente
Elettrooculogramma	Molto Buona	Sufficiente
Pressione mani su volante	Molto Buona	Sufficiente

1.3.2 Sistemi di monitoraggio non intrusivi

I sistemi non intrusivi (14) (15) (16) sono costituiti da tutti quei dispositivi che effettuano misure indirette dei parametri esterni al conducente, correlandoli al comportamento di questo. Il vantaggio di questo tipo di misura sta nel fatto che al conducente non viene creato alcun tipo di disturbo o interferenza poiché i sensori non sono, generalmente, visibili.

Tutti i segnali utilizzati nel monitoraggio non intrusivo necessitano, comunque, nella fase di studio di essere affiancati ai sistemi intrusivi in modo da associare a delle variazioni di segnale un preciso stato di vigilanza del conducente. In questo modo dovrebbe essere possibile definire dei valori di riferimento per le ampiezze e le frequenze dei vari segnali, superati i quali lo stato di attenzione del conducente entra in ambito critico.

I sistemi sinora adottati in via di sperimentazione possono interessare due aspetti: il monitoraggio attraverso l'azioni del conducente o per mezzo del comportamento dinamico del veicolo.

Per quanto riguarda i dati provenienti dal veicolo sono stati presi sinora in considerazione le velocità longitudinale e laterale, l'accelerazione laterale e

l'angolo di imbardata. Inoltre è stato anche inserito tra queste variabili anche la posizione laterale del veicolo rispetto la carreggiata. In quest'ultima analisi si assume che il conducente sia in uno stato di ipovigilanza se le variazioni di traiettoria intorno a una linea media siano di grande entità e analizzando inoltre il contenuto frequenziale del segnale si può ottenere un dettaglio più approfondito della situazione.

Il monitoraggio delle azioni del conducente invece fa uso dei segnali provenienti dai pedali e dal sistema di sterzo. Tramite la sensorizzazione della pedaliera si può controllare il verificarsi di brusche accelerazioni/decelerazioni che possono significare il manifestarsi di una condotta di guida alterata.

Tabella 1.9: Confronto tra i sistemi di monitoraggio non intrusivi.

MONITORAGGIO		
AZIONI DEL CONDUCENTE		
<i>TIPOLOGIA MISURA</i>	<i>ACCURATEZZA</i>	<i>PRATICITA'</i>
Angolo di sterzo	Buona	Molto buona
Pedaliera	Sufficiente	Molto buona
COMPORTAMENTO VEICOLO		
Velocità	Insufficiente	Molto buona
Accelerazione laterale	Insufficiente	Molto buona
Angolo di imbardata	Insufficiente	Molto buona
Posizione laterale	Sufficiente	Molto buona

Il sistema non intrusivo più affidabile riguarda i segnali provenienti dallo sterzo, alla descrizione del sistema si è voluto dedicare un paragrafo per focalizzare meglio le caratteristiche.

1.3.3 Il monitoraggio dello sterzo

Diversi ricercatori (6) (7) (8) (12) (17) (18) (19) hanno studiato la possibilità di utilizzare i segnali provenienti dallo sterzo, allo scopo di individuare eventuali stati di sonnolenza nel guidatore.

In tutti gli studi è stata dedicata un'attenzione particolare alla relazione tra sonnolenza e fluttuazione degli intervalli di adattamento dello sterzo.

Le variabili monitorate sono elencate di seguito:

- Posizione dello sterzo, con particolare attenzione all'ampiezza delle correzioni operate dal conducente durante la guida che hanno lo scopo di far mantenere al veicolo una traiettoria più rettilinea possibile. Lo studio di questa variabile comporta il controllo di diverse grandezze:
 - Deviazione standard dell'angolo di sterzo in funzione del tempo;
 - Estensione dell'area sotto la curva del segnale di sterzo;
 - Frequenza con cui sono effettuate le correzioni dell'angolo di sterzo da parte del guidatore;
 - Valore medio nell'unità di tempo dell'ampiezza delle correzioni, riferite alla linea di margine della carreggiata.
- Velocità dei movimenti dello sterzo durante le correzioni di traiettoria. Le grandezze prese in considerazione per questa analisi sono:
 - Deviazione standard della velocità di sterzata;
 - Analisi del tempo di sterzata a basse velocità;
 - Velocità con cui viene effettuato il ritorno dello sterzo.
- Coppia al volante esercitata dal conducente per compiere le manovre di sterzata.

Gli stati di sonnolenza sono stati valutati acquisendo dati su vari soggetti monitorandoli sia in condizioni di alta attenzione sia in casi di ipovigilanza. In generale, è stato rilevato che la relazione tra stato di allerta del guidatore e gli input che questo dà allo sterzo sta in micro movimenti consistenti in piccoli aggiu-

stamenti della traiettoria del veicolo. Negli stati di sonnolenza i movimenti diventano meno precisi e più ampi con conseguenti più larghi cambi di traiettoria.

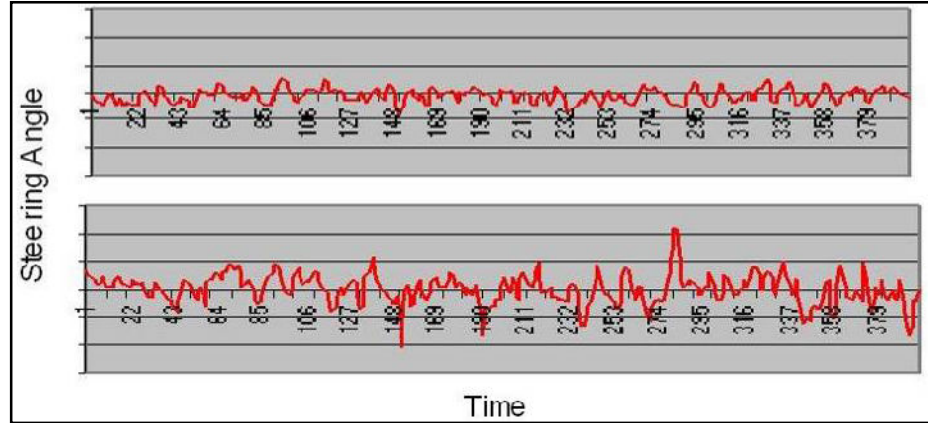


Figura 1.7: Correzioni angolo di sterzo con conducente riposato e affaticato

Nello specifico un'alta percentuale di guidatori, per la maggior parte dei movimenti di controllo dello sterzo, hanno un'ampiezza massima di circa 2° in un campo di frequenza tra 0.1 e 0.3 Hz, in questo campo di frequenze sono esaminate le cosiddette “*microcorrezioni*”. I segnali di frequenza devono, così, essere elaborati con un preciso processo in modo tale da portare in risalto il contenuto frequenziale interessato ripulendolo dal rumore, dell'ordine di 6-16 Db, caratteristico delle frequenze in questione.

Gabrielsen e Sherman hanno utilizzato la funzione PSD (Power Spectral Density) di autocorrelazione del segnale al tempo t con quello del segnale $t+\tau$.

$$S_x(\omega) = \sum r_x(\tau) \cdot e^{-j\omega\tau} \quad (1.1)$$

Dalle analisi delle PSD è stato evidenziato che non c'è sovrapposizione tra gli intervalli di confidenza per lo stato di sonnolenza e quello di vigilanza per le frequenze nell'intorno di 0.45, 0.60 e 0.80 Hz, indipendentemente dal percorso di guida. Questo vuol dire che per queste frequenze l'andamento della PSD nei diversi stati di vigilanza ha andamenti distinguibili e caratteristici. Un esempio è riportato nella Figura 1.8.

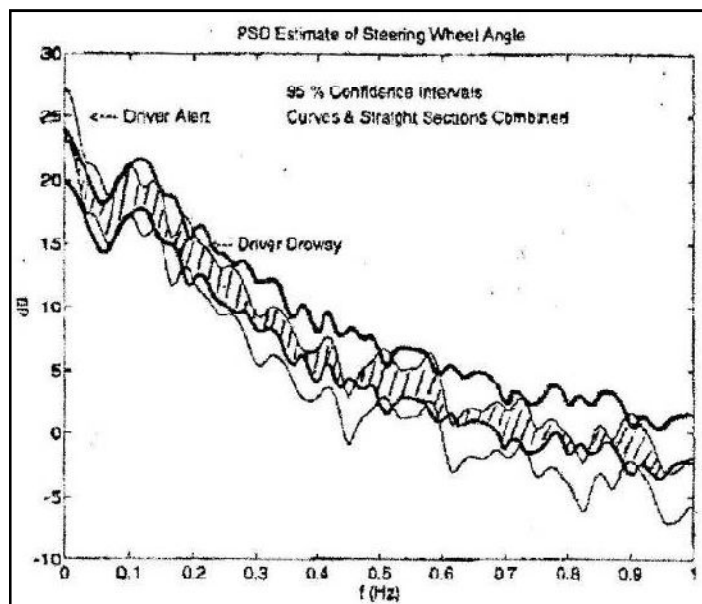


Figura 1.8: Distribuzione PSD per tratti di strada misti.

L'analisi, però, richiede una precisazione, infatti, è necessario, per una efficiente e significativa lettura dei risultati, considerare gli spostamenti del volante depurati dalle manovre necessarie a seguire l'andamento stradale (Figura 1.9).

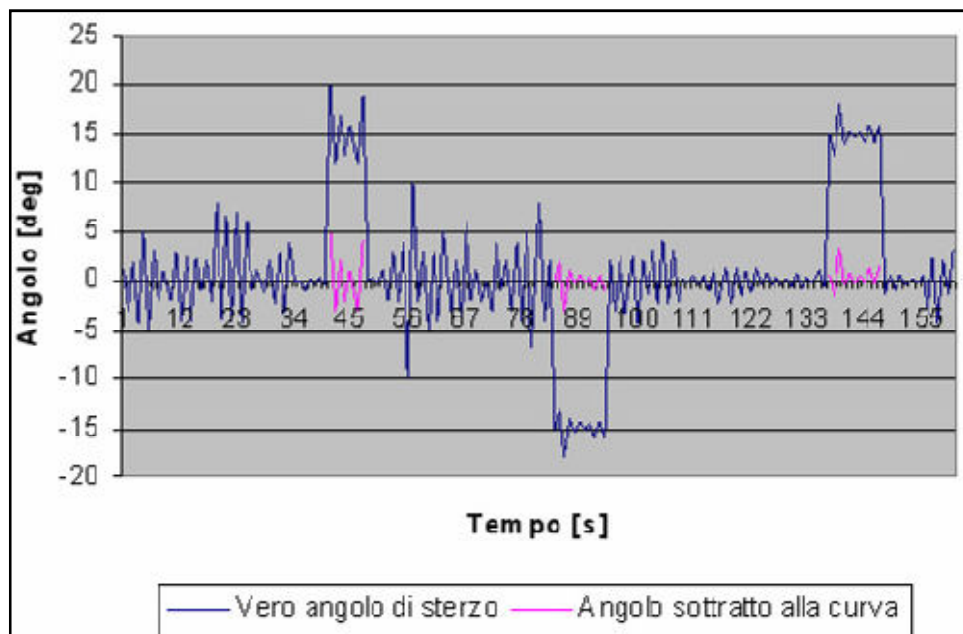


Figura 1.9: Analisi correzioni in relazione alla strada.

2 I SIMULATORI DI GUIDA

Lo stato di fatica per soggetti alla guida di un veicolo è stato studiato in campo medico con diversi sistemi, ma spesso l'uso dei simulatori di guida è stato l'elemento base dello sviluppo scientifico.

Come spiegato nel capitolo precedente, con l'uso di dispositivi intrusivi o meno è possibile stabilire lo stato di vigilanza del conducente. Gli studi di settore sono stati compiuti, finora, mediante prove di guida ponendo il soggetto in esame in un ambiente virtuale che grazie a interfacce grafiche sempre più dettagliate spingono l'individuo a percepirlo come reale. L'obiettivo finale è comunque quello di eseguire un'analisi affidabile dello stato di sonnolenza dell'individuo.

L'uso dei simulatori in questo tipo di prova è supportato dalle difficoltà pratiche e organizzative nonché nell'alto livello di rischio che comporterebbe se fosse svolta su strada aperta al traffico: un eventuale assopimento del conducente fornisce un evidente apporto di dati utili, ma al contempo pone l'individuo sottoposto al test e terze persone in situazioni di alta pericolosità.

Le considerazioni sinora fatte valgono anche per il simulatore sviluppato presso il *Dipartimento di Meccanica Nucleare e della Produzione dell'Università di Pisa*, in cui si è scelto di monitorare gli stati di ipovigilanza controllando i dati provenienti da azioni dirette del conducente piuttosto che l'adozione di sistemi ottici o di altra natura.

2.1 Impieghi di un simulatore di guida

Il livello di fedeltà nella ricostruzione della realtà raggiunto dai simulatori di guida ha consentito un impiego sempre maggiore nell'ambito della ricerca fino a trasformarli in uno strumento fondamentale per la comprensione delle interazioni conducente - veicolo - strada.

Il simulatore è spesso preferito alle normali prove su strada per i molti vantaggi che presenta: controllo dell'ambiente di prove e delle condizioni a contorno, efficienza, minor costo e maggiore facilità di gestione dei dati.

Un altro importante vantaggio dei simulatori è rappresentato dalla ripetitività degli esperimenti. La strada, infatti, viene riprodotta quasi fedelmente, ma resta sempre la stessa per tutte le prove; con una prova reale una condizione di questo tipo non si potrebbe ottenere perché le caratteristiche del manto stradale e le condizioni dell'ambiente variano in modo casuale. Il simulatore consente, per quanto detto, di usare un minor numero di tester, con riduzione dei costi e dei tempi. Di contro è difficile riprodurre proprio quei parametri che nella realtà sono caratterizzati da un'elevata aleatorietà.

I primi simulatori di autoveicoli nascono nel 1970 e traggono le proprie origini dai simulatori di volo di inizio novecento. Con l'avvento della Computer Technologies, Daimler-Benz lanciò in Germania un simulatore ad alta fedeltà agli inizi del 1980 che creò un grande interesse in tutto il settore automotive e diede una spinta decisiva allo sviluppo di questi dispositivi. Da quel momento, molti costruttori di autoveicoli e istituti di ricerca hanno sviluppato e applicato i propri simulatori per studiare e risolvere in ambiente virtuale i loro più svariati problemi sfruttando anche i nuovi e sempre più veloci processori e schede grafiche per PC.

I simulatori attualmente esistenti sono tanti: solo per citarne alcuni in Europa sono stati sviluppati presso il VTI in Svezia, l'Università di Groningen in Olanda, presso la Daimler-Benz in Germania, all'Università di Leeds in Inghilterra, in America presso l'Università dell'Iowa e presso il Triggs in Australia.

I principali impieghi cui sono destinati i simulatori sono:

- Studi comportamentali;
- Sicurezza stradale e monitoraggio del conducente;

-
- Sviluppo di nuovi sistemi;
 - Studi ergonomici;
 - Impieghi didattici;
 - Impieghi per la riabilitazione.

Ovviamente l'ambito di interesse di questi settori spesso si interseca e non possono essere condotti indipendentemente gli uni dagli altri.

2.2 Strutture e sottosistemi di un simulatore

Lo sviluppo di un simulatore richiede l'elaborazione contemporanea di diversi sottosistemi, per far questo è necessario correlare soggetti che operano in ambiti diversi e spesso dotati di conoscenze disomogenee.

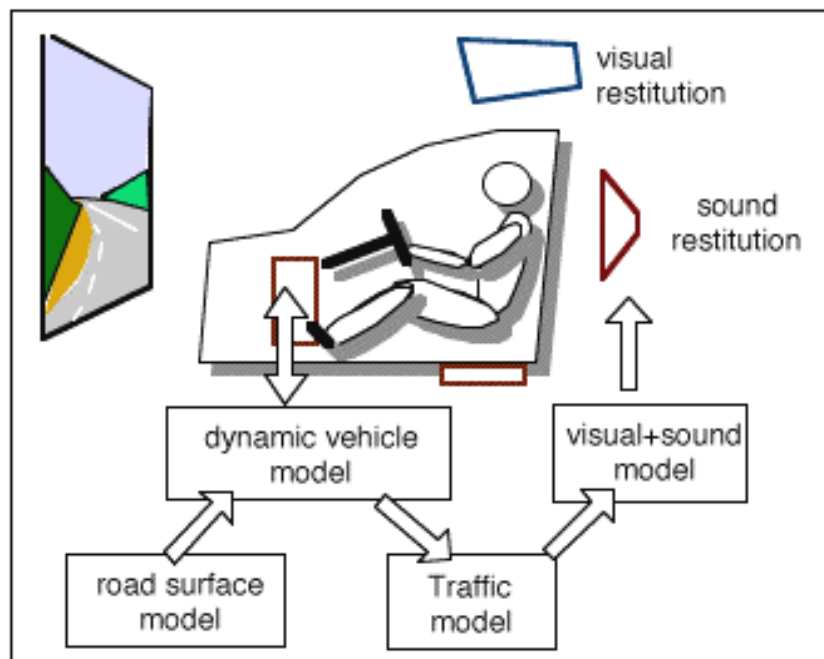


Figura 2.1: Schema di un simulatore.

Di seguito si analizzeranno i componenti principali che i più comuni simulatori possiedono, questi faranno da linee guida allo sviluppo del simulatore di interesse universitario.

Modello di veicolo

L'elemento base di ogni simulatore è un modello matematico che riproduce l'intero veicolo in modo da avere un'accurata risposta virtuale ai comandi imposti dal conducente.

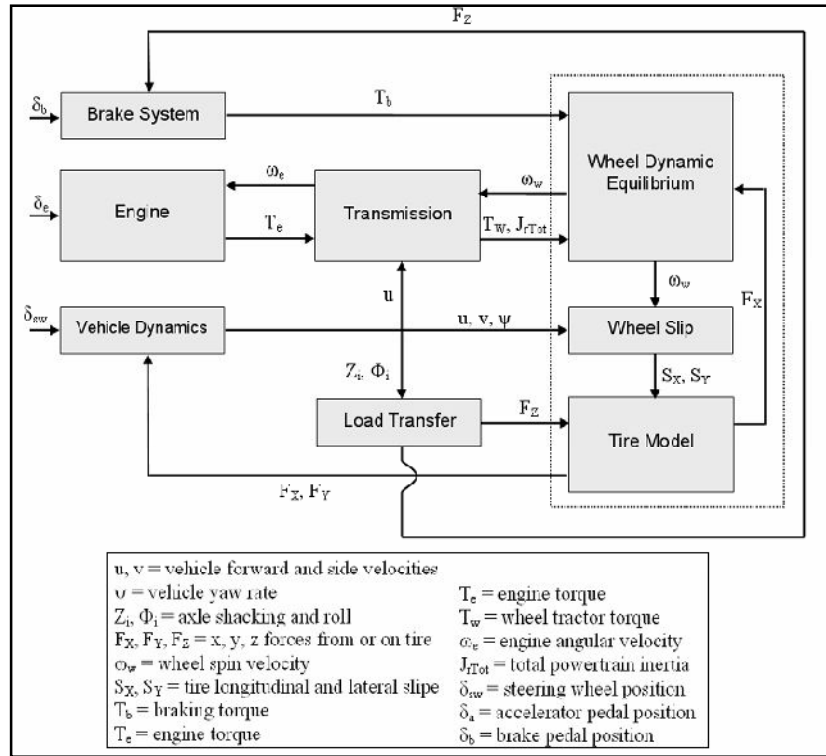


Figura 2.2: Schema base per un modello di veicolo.

In linea di principio il modello riceve i segnali dal conducente attraverso lo sterzo e la pedaliera e da questi ricava la posizione del veicolo. Per far questo oltre ad un sottosistema che simuli la dinamica è necessario introdurre altri moduli che riproducano i sottosistemi presenti nei normali autoveicoli: motore, trasmissione, impianto frenante, pneumatici, ecc.

L'approccio modulare nella modellazione del veicolo è fondamentale per consentire uno sviluppo continuo e per step. Un esempio è riportato in Figura 2.2.

La corrispondenza tra la volontà del conducente ed effetti sui sistemi di feedback hanno bisogno di una caratteristica non sempre riscontrabile nei sistemi informatici, si richiede, cioè, al modello di girare in *"tempo reale"*. I segnali provenienti dai sensori, rilevati a ogni tempo di campionamento, vengono processati

e restituiti ai sistemi di retroazione sul guidatore. È facile capire come la velocità di calcolo del modello sia fondamentale per ridurre al minimo i ritardi tra azioni dirette del conducente ed effetti di queste sugli impianti visivi e sonori.

Ovviamente, come spesso accade, bisogna trovare un compromesso di ottimo, infatti, modelli complessi risultano molto precisi a scapito proprio della velocità di calcolo. Bisogna anche dire che il progresso tecnologico consente di avere a disposizione computer sempre più potenti garantendo tempi di esecuzione del modello molto bassi, tali cioè da ridurre i ritardi sotto la soglia di percezione umana anche per modelli più complessi.

Impianto visivo e sonoro

Entrambi i sistemi sono di notevole importanza, infatti, sono questi gli anelli di congiunzione della realtà virtuale all'esperienza di tutti i giorni.

Il *sistema visivo* è tutto quanto necessario a livello sia hardware sia software per riprodurre l'ambiente in cui è immerso il conducente stesso.

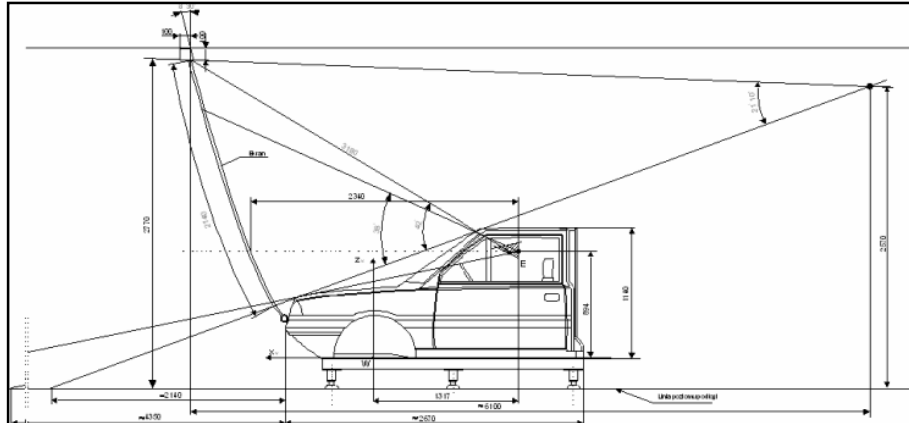


Figura 2.3: Calcolo campo visivo del conducente.

Affidarsi a componenti grafici di alte prestazioni è essenziale per garantire il dettaglio grafico migliore possibile così da rendere le sensazioni di guida in sintonia con l'esperienza di tutti i giorni. Tutto questo è ottenuto anche attraverso la cura dei dettagli come segnali stradali, oggetti tridimensionali riscontrabili abitualmente nell'ambiente reale, variazioni di condizioni climatiche, presenza di altre vetture con un loro logica di marcia, ecc.

Possiamo concludere dicendo che sviluppare un sistema visivo ottimale è il primo passo per ricreare un ambiente virtuale idoneo a garantire che il conducente percepisca come reale le situazioni ricreate in un laboratorio.



Figura 2.4: Esempio di visuale di guida.

Il *sistema sonoro* è in egual misura importante, infatti, l'udito è l'altro senso insieme alla vista a cui il guidatore fa riferimento per avere informazioni circa l'ambiente circostante.

In un simulatore esso è costituito a livello hardware da una scheda audio e da più casse satelliti in grado di riprodurre in modalità 3D l'audio processato da un software sviluppato ad hoc. I sistemi più sofisticati presentano diversi sottosistemi disgiunti tra loro in modo da consentire l'utilizzo di ben 10 satelliti dedicandone la metà alla riproduzione dell'ambiente esterno e l'altra metà ai suoni dovuti al veicolo.

I suoni immagazzinati nei diversi database devono comprendere: il rumore delle ruote sull'asfalto, il motore del veicolo condotto e quello delle altre macchine presenti nell'ambiente virtuale, i rumori derivanti dall'ambiente circostante e dalle condizioni climatiche, ecc.

Alcuni simulatori sfruttano potenti subwoofer per riprodurre le vibrazioni interne di un veicolo dovute al motore.

Postazione di guida

La postazione di guida è l'ambiente dal quale il conducente invia gli input al veicolo. Le soluzioni utilizzate nei simulatori sono svariate, si va da quelle in cui si utilizza una vettura reale dotata di tutti gli strumenti di bordo, a quelle meno realistiche in cui si utilizzano dispositivi derivanti da applicazioni per videogiochi.

Allo scopo di aumentare il realismo si può corredare il sistema di sterzo di un meccanismo di feedback grazie al quale il conducente può avvertire le azioni della strada sugli pneumatici.

Un altro aspetto spesso tenuto in considerazione sono le forze inerziali sul conducente, per far questo i simulatori più raffinati sono dotati di piattaforme mobili in grado di riprodurre i vari moti di beccheggio e rollio della massa sospesa.

2.3 Possibili layout di un simulatore

Come anticipato, esistono svariate tipologie di simulatori, in funzione dello scopo e dell'investimento economico che si vuole fare.

È possibile, comunque, evidenziare cinque grandi categorie che rappresentano il completo panorama delle soluzioni adottate sinora:

- Monitor e comandi;
- Schermi e comandi;
- Schermi e veicolo;
- Dispositivi con capsula;
- Visori stereoscopici;

Come in ogni classificazione anche in qui è opportuno sottolineare che la precedente distinzione è puramente indicativa perché in molti casi esistono delle soluzioni miste a quelle elencate.

Simulatore con monitor e comandi

È la soluzione più semplice di simulatore, infatti, è costituita da: un sedile di guida, che nelle configurazioni più semplicistiche può essere sostituito da una

comune sedia, i comandi, rappresentati da sterzo e pedaliera con la possibilità di una leva del cambio qualora il modello lo preveda, e 1 o 3 schermi da computer.

La soluzione a singolo schermo è quella che più di tutte si avvicina all'architettura di un videogioco, oggi giorno le case produttrici di videogiochi sono in grado di riprodurre in maniera efficace le sensazioni di guida anche più estreme garantendo un ottimo feeling col guidatore, così la distinzione tra una postazione di gioco e un simulatore a singolo schermo è talmente assottigliata da far confondere le due cose.

La soluzione con tre schermi è molto più diffusa come configurazione a basso costo. L'utilizzo di tre schermi permette di ottenere un'immagine allargata e avvolgente consentendo un maggiore coinvolgimento del conducente.



Figura 2.5: Soluzione a tre schermi.

L'utilizzo di questa categoria di simulatore è spesso legata all'insegnamento e all'addestramento.

Spesso come ulteriore upgrade del sistema si prevede una piattaforma mobile in grado di riprodurre i movimenti di rollio e beccheggio del veicolo.

Simulatori con schermi e comandi

Sono il risultato dell'evoluzione della precedente categoria: il monitor viene sostituito da schermi che permettono di estendere il campo visivo del conducente aumentando notevolmente la sensazione di realismo durante la guida. Anche in questa categoria sono presenti delle sottosoluzioni, si può, cioè, far ricorso, ad esempio, a un singolo schermo piatto o a tre schermi piatti oppure nelle soluzioni più evolute utilizzare un unico schermo ma di forma cilindrica (Figura 2.6).



Figura 2.6: Configurazione con schermo cilindrico

Simulatori con veicolo reale e schermo

È la tipologia più utilizzata nei centri di ricerca universitari o privati. Questa soluzione è simile alle precedenti ma la postazione di controllo non è più minimalista, ma costituita da un veicolo intero o parte di esso.

L'utilizzo di veicoli reali per riprodurre l'ambiente di controllo permette di semplificare il software grafico, permettendo di non realizzare virtualmente l'abitacolo e il cruscotto.

Ovviamente, anche per questa categoria, esiste la possibilità di utilizzare più schermi o uno schermo cilindrico con il vantaggio in quest'ultimo di non avere soluzione di continuità nell'immagine.



Figura 2.7: Soluzione a schermo cilindrico e veicolo intero.

Simulatori con capsula

È la soluzione più complessa e costosa spesso utilizzata in laboratori privati finanziati da grosse case automobilistiche. Una grossa capsula, realizzata in materiale plastico e leghe leggere è movimentata da pistoni idraulici e sulle pareti interne vengono proiettate immagini virtuali a 360° riproducendo anche l'audio tipico di un abitacolo.

La capsula può contenere o l'intero veicolo o parte di esso o semplicemente una postazione di comando.



Figura 2.8: Simulatore con capsula.

Simulatore con visione stereoscopica

Questa categoria comprende i simulatori che a livello hardware implementano i soli comandi che il conducente aziona mentre la riproduzione virtuale si occupa del resto. Il sistema fa uso di occhiali a vista stereoscopica e guanti sensorizzati.

Questi simulatori, oltre che per i classici scopi, si prestano anche allo studio degli interni del veicolo anche in relazione all'ergonomia.



Figura 2.9: Riproduzione virtuale dell'abitacolo

3 SIMULATORE DEL DIMNP

Il simulatore sviluppato presso il DIMNP (Dipartimento di Ingegneria Meccanica, Nucleare e della Produzione) è il frutto di diversi lavori sviluppati in svariati anni e che non si concluderanno con la presente tesi.

La caratteristica primaria che ha spinto allo sviluppo in sede di un sistema elaborato quale può essere un simulatore di guida consiste nella possibilità di conoscere e intervenire su ogni singolo componente hardware o software del progetto. Di certo, il mercato offre diverse tipologie di impianti di simulazione, come visto nel capitolo 2, ma tutti questi si presentano all'acquirente come una "scatola chiusa" in cui le possibilità di apportare modifiche sono limitate e vincolate a regole restrittive.

Il capitolo sarà organizzato in modo da presentare il Pisa Simulator sia nella forma strutturale che in quella informatica.

Parti del modello matematico provengono da lavori precedenti ed essendo stati trattati e sviluppati ampiamente in diverse tesi (20) (21), saranno solo richiamati nella presente trattazione sottolineando le equazioni base, poste nella loro forma finale, e lo schema a blocchi sviluppato in ambiente Simulink, alcune sezioni, invece, hanno richiesto l'intervento e lo studio del particolare per risolvere problemi che non consentivano un ottimale funzionamento del simulatore.

Per quanto riguarda la parte strutturale si metterà bene in evidenza il cablaggio, in modo da rendere il seguente capitolo una sorta di manuale in grado di fornire le indicazioni necessarie all'assemblaggio del simulatore.

3.1 Layout

Il layout del simulatore sviluppato è costituito da una postazione di guida a piattaforma fissa dotata di un sistema di sterzo reale con servosterzo elettrico (fornito da TRW) e di una pedaliera strumentata il tutto assemblato come mostrato in Figura 3.1. La postazione è stata realizzata in modo da rispecchiare una reale vettura di serie e rispettare le regole basi dell'ergonomia.



Figura 3.1: Simulatore presso il DIMNP

Il sistema di visualizzazione è costituito da uno schermo piatto con proiettore frontale, tale soluzione è stata scelta come primo passo di sviluppo, infatti, un successivo passaggio alla configurazione a tre schermi può essere facilmente attuato attraverso l'acquisto e la calibrazione di altri due proiettori, relazionandoli a quello già presente nel sistema, con l'accortezza, ovviamente, di sostituire lo schermo piatto con uno cilindrico.

Dal punto di vista computazionale il sistema è gestito da quattro computer: due dedicati a generare e gestire i software per la riproduzione audio e video

(Traffic Generator PC e Instructor Station PC), uno a gestire il modello di dinamica del veicolo in tempo reale (Target PC) e l'ultimo a registrare i dati provenienti dal veicolo caratteristici dello "stile di guida" di ogni individuo (Host PC).

In Figura 3.2 si illustra, in maniera schematica, le relazioni tra i diversi componenti del simulatore.

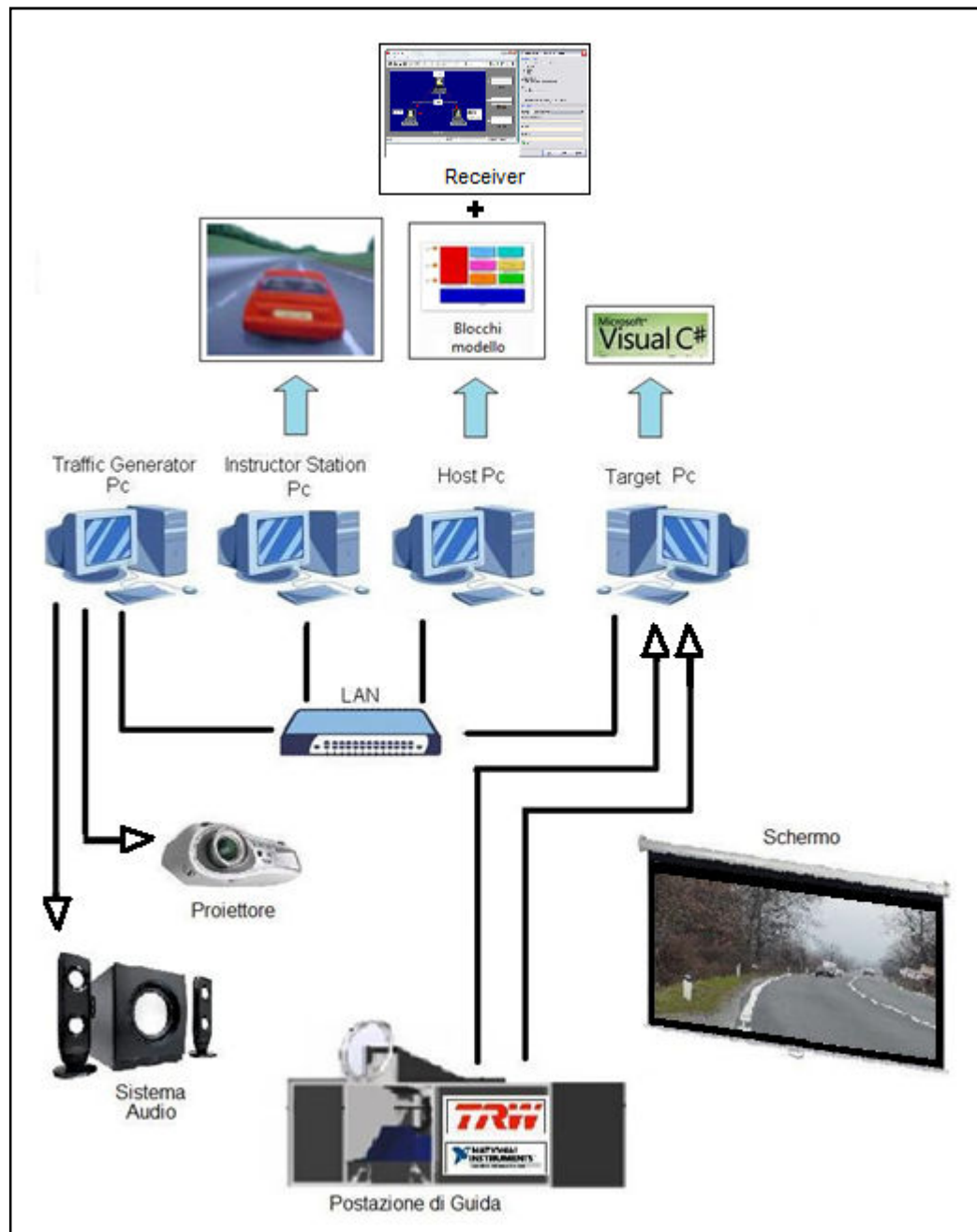


Figura 3.2: Schema logico funzionale del simulatore di Pisa.

Il sistema di sterzo e i pedali sono azionati dal conducente e inviano i segnali in real-time a un primo PC denominato “Target PC”. Lo sterzo comunica attraverso una rete CAN per mezzo di una centralina, mentre i pedali utilizzano dei potenziometri collegati a una scheda di acquisizione NI.

L’“Host PC” compila, per mezzo di un applicativo di Matlab (xPc Target), l’intero modello di veicolo in linguaggio C, e lo invia, attraverso la rete locale, al “Target PC”, da questo momento in poi, fino alla fine della simulazione, l’elaborazione del modello riguarderà solo quest’ultimo computer, che si occuperà, inoltre, di inviare i dati necessari all’elaborazione grafica a due PC: uno che riprodurrà l’ambientazione e i movimenti del veicolo rappresentandoli sullo schermo posto davanti alla postazione di guida e l’altro che consentirà al personale addetto di monitorare la guida e gestire alcune variabili della simulazione dello scenario quali, ad esempio, le condizioni atmosferiche.

Da quanto descritto sembrerebbe che l’Host PC abbia come unica funzione quella di compilare il modello, in realtà su di esso è stato anche sviluppato un sistema, il Receiver, in grado di acquisire i segnali provenienti dal Target PC e di registrarli campionandoli a diverse frequenze, la cui discussione si rimanda al Paragrafo 3.3.

Per quel che riguarda la comunicazione tra i computer è stato scelto di utilizzare il protocollo UDP (User Datagram Protocol) che grazie alla sua particolare “leggerezza” assicura l’esecuzione in tempo reale. A differenza del protocollo TCP, l’UDP gestisce un pacchetto di dati inviandolo a un indirizzo IP specifico senza preoccuparsi che il PC ricevente sia pronto, qualora questo non dovesse essere in questa condizione il pacchetto inviato sarebbe perso.

La scelta di questo layout è sembrato il miglior compromesso tra prestazioni e costi realizzativi..

3.1.1 Sistema di sterzo

Il sistema di sterzo utilizzato nel simulatore è dotato di servosterzo elettrico (EPS, Electrically Powered Steering) ed è di fabbricazione TRW Italia. La fa-

cilità di implementazione senza l'utilizzo di componenti idraulici, il vantaggio di poter acquisire i segnali di angolo e coppia direttamente dai sensori presenti nel sistema stesso sono le principali motivazioni che hanno spinto alla scelta di questa soluzione.



Figura 3.3: Sistema di sterzo TRW.

Il piantone di sterzo, composto da tre alberi collegati mediante giunti di cardano, è collegato alla barra di rinvio tramite una scatola di sterzo con accoppiamento di tipo pignone/cremagliera. Alle estremità della barra di rinvio sono collegati, mediante due cerniere sferiche, i tiranti destro e sinistro a cui sono collegate delle molle per riprodurre in maniera semplice, anche se poco realistica, il ritorno in posizione centrale del volante. Per ottenere una sensazione di guida migliore si sta comunque lavorando per integrare un sistema di “force feedback” per riprodurre sullo sterzo le azioni che l’asfalto scambia con gli pneumatici.

I componenti fondamentali del sistema di sterzo, oltre a quelli già sottolineati, vanno ricercati anche nel servosterzo (Figura 3.4):

- Motore elettrico;
- Sensore di coppia;
- Centralina elettronica (ECU).

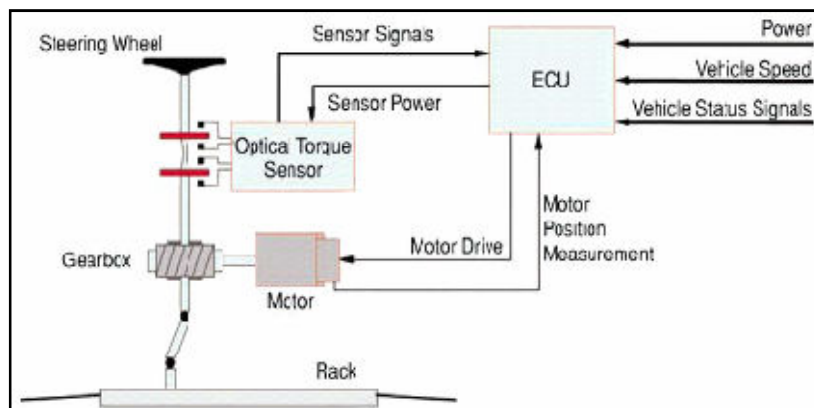


Figura 3.4: Schema di funzionamento di un servosterzo EPS.

Il sistema EPS, come anticipato, fornisce due dati: la posizione angolare del volante e la coppia applicata. L'entità della coppia applicata è calcolata tramite una cella di carico posta a monte del motore elettrico e formata da una barra di torsione alle cui estremità sono calettati degli encoder ottici, dalla loro rotazione relativa si risale alla coppia applicata. Per quel che riguarda, invece, la posizione angolare, è utilizzato l'encoder più prossimo al volante (per maggiori dettagli vedere (21)).

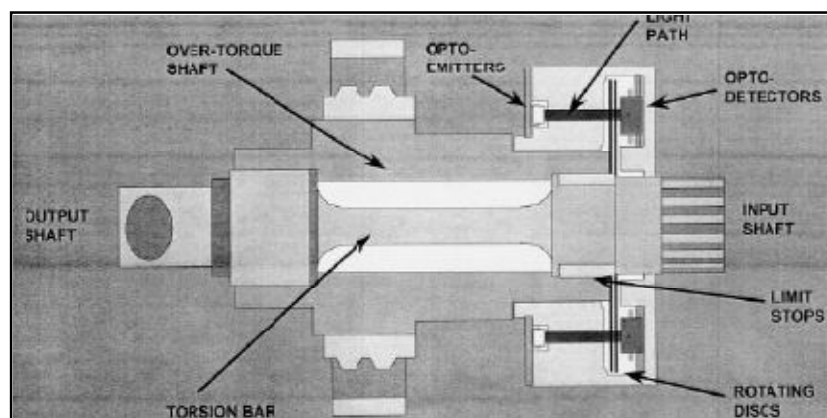


Figura 3.5: Sezione di un sensore ottico.

Le misure effettuate con questo sensore hanno una capacità di risoluzione minore di 0.016° al piantone, equivalenti a 0.77° all'asse del motore elettrico. I segnali misurati sono poi inviati a una centralina elettronica da laboratorio attraverso l'ingresso evidenziato in Figura 3.6 con il numero 3.

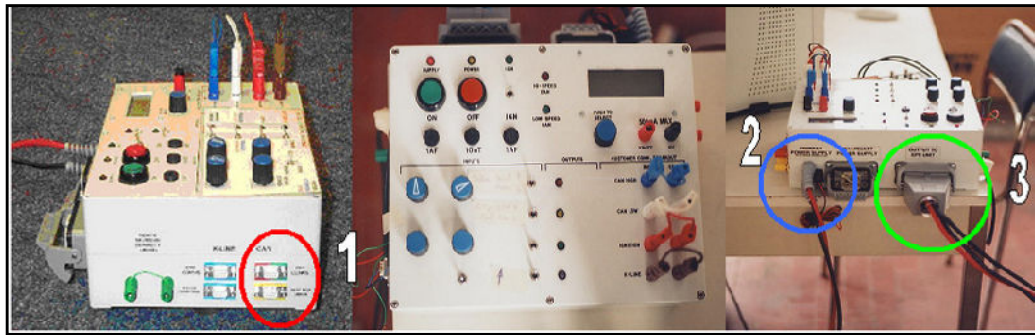


Figura 3.6: ECU collegata al servosterzo.

La centralina da laboratorio ha il vantaggio di simulare la rete CAN di bordo e permette di generare gli altri segnali indispensabili per il funzionamento del servosterzo, quale ad esempio la velocità del veicolo, senza dover necessariamente connetterlo al veicolo.

Questo dispositivo è alimentato da un generatore a corrente continua a 12 V tramite il connettore 2 in Figura 3.6, questa corrente viene fornita da un generatore di corrente collegato in serie con una batteria a elevata capacità che ha la funzione di soddisfare i picchi temporanei di tensione.



Figura 3.7: Collegamento Generatore Corrente – Batteria - Centralina.

La centralina provvede quindi a leggere e decifrare i segnali di coppia e angolo di sterzo provenienti dall'EPS rendendoli disponibili sulla rete CAN di cui essa rappresenta un nodo. Attraverso le uscite 1 in Figura 3.6 è possibile acquisire questi dati.

Dall'hardware al software

Il sistema di sterzo comunica con la centralina e attraverso questa con il Target PC. Infatti, l'uscita dati della centralina (1 in Figura 3.6) attraverso un opportuno cablaggio si collega a una scheda di acquisizione CAN-AC2-PCI installata nel Target PC (Figura 3.8). La scelta di questo tipo di scheda è stata agevolata dalla presenza nella libreria di Simulink di blocchi appositamente dedicati.

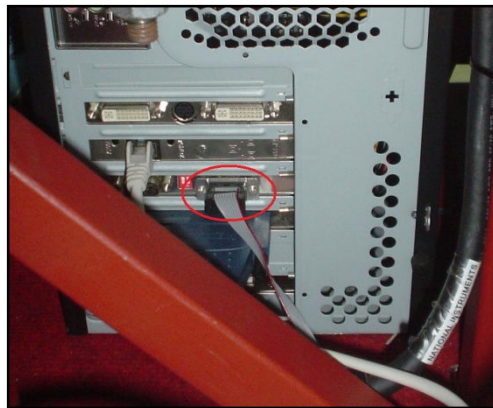


Figura 3.8: Collegamento Centralina al Target PC.

Proprietario del protocollo di comunicazione tra sterzo e centralina è FIAT, quindi, protetto e non accessibile. È stato necessario, perciò, inizializzare la centralina in modo da poter comunicare con questa e quindi indirettamente con lo sterzo per mezzo del protocollo standard di comunicazione CAN CCP.

Lo sviluppo della comunicazione CAN è stato oggetto di un altro lavoro (22) a cui si rimanda per ulteriori chiarimenti, successivamente, comunque, si evidenzieranno i punti essenziali per l'utilizzo e la gestione di questa.

I settaggi della comunicazione CAN sono registrati nel file “Inizializzazione_CAN.m” che dovrà essere inserito nella cartella in cui Matlab ricerca di default i file in quanto è stato univocamente legato al modello, questo produrrà nel workspace relativo al modello due variabili: “init” e “term”.

A questo punto i dati della centralina possono essere ricevuti e convertiti nelle unità di misura opportuna per utilizzarli nel modello, infatti, soprattutto per quel che riguarda la posizione angolare dello sterzo dall'uscita della centralina si hanno angoli in gradi mentre per le equazioni della dinamica si utilizzano i radianti.

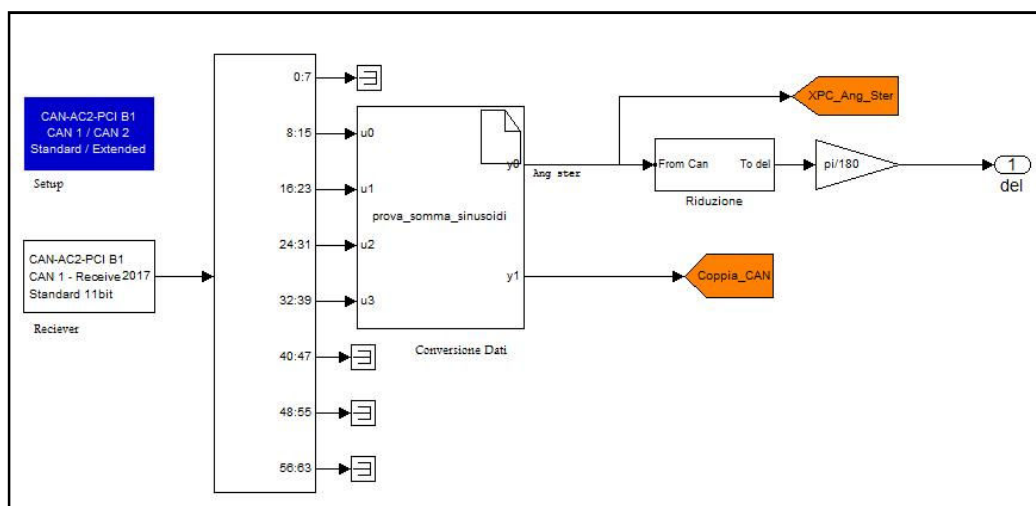


Figura 3.9: Schema per la ricezione e l'utilizzo dei dati della centralina.

In Figura 3.9 è mostrato lo schema a blocchi che riguarda la gestione del sistema di sterzo, come già detto il tutto è stato ampiamente descritto in (22), ci limitiamo, così, a una semplice carrellata sulla funzione dei vari blocchi.

Il blocco con background blu, denominato “Setup”, contiene le stringhe di richiamo alle variabili di inizializzazione della rete CAN, mentre il Receiver legge i dati provenienti dalla scheda presente nel Target PC per estrapolarne, con l’ausilio del blocco “CAN bit-unpacking”, i valori relativi all’angolo di sterzo e la coppia a esso applicata. Il blocco conversione dati si occupa di calcolare i dati utili al modello poiché questi sono contenuti in diversi byte: il secondo e il terzo forniscono le informazioni per l’angolo di sterzo, mentre dal quarto e dal quinto si ottiene la coppia.

La coppia allo sterzo così calcolata è nell’unità di misura di Nm, mentre per l’angolo di sterzo prima di convertirlo in radianti è necessario riferirlo all’angolo di rotazione delle ruote. Come noto, tra l’angolo di sterzo e l’angolo di sterzata delle ruote c’è un rapporto di riduzione che in soluzioni semplicistiche può essere ritenuto costante, ma che nella maggior parte delle applicazioni è variabile. Nel modello è stato introdotto il blocco “Riduzione” mostrato in Figura 3.10 che contiene una “Lookup Table” con la funzione di riduzione (Figura 3.11).

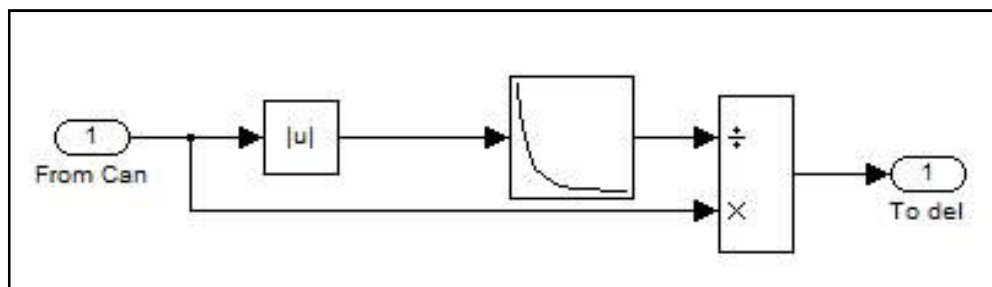


Figura 3.10: Blocco riduzione.

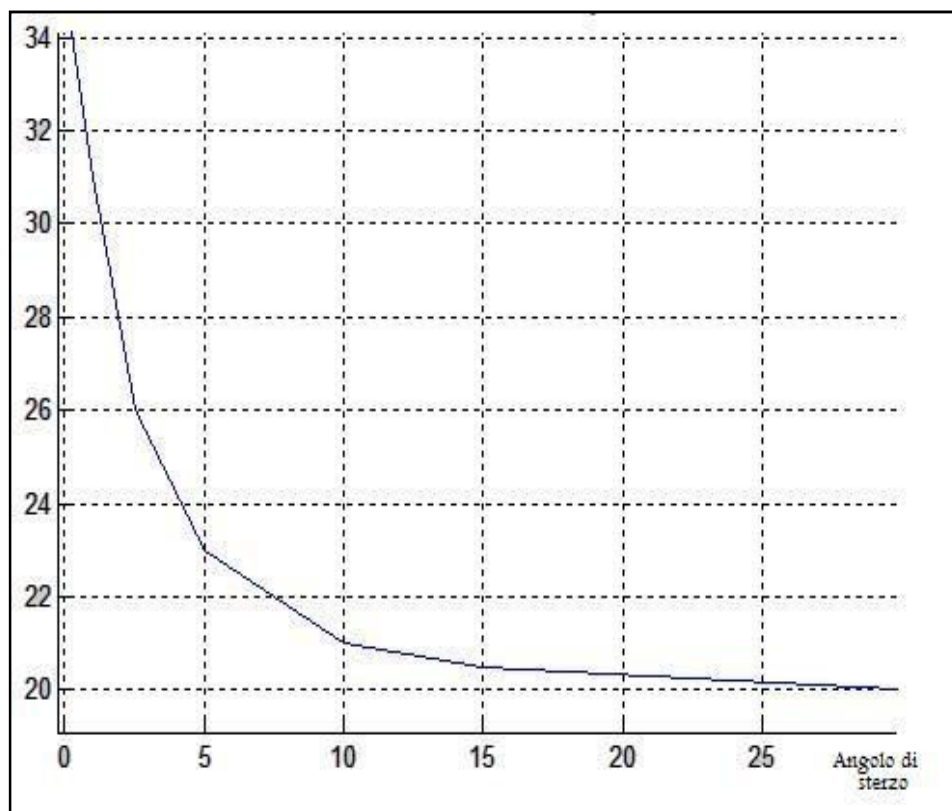


Figura 3.11: Diagramma del rapporto di riduzione.

A questo punto il segnale dell'angolo delle ruote, convertito in radianti, può essere introdotto e utilizzato nel modello di veicolo per le equazioni della dinamica.

3.1.2 La pedaliera

Alla configurazione hardware della pedaliera, mostrata in Figura 3.12, si è giunti attraverso un lavoro di progettazione (23) il cui intento era di rispettare tre obiettivi fondamentali:

1. Corrispondenza con una pedaliera automobilistica reale;
2. Realizzazione di un sistema in grado di riprodurre le sensazioni reali;
3. Utilizzo di un'architettura che possa consentire l'acquisizione dei dati.



Figura 3.12: Pedaliera.

Dal punto di vista funzionale ed ergonomico dovendo ricostruire il sistema standard per un autoveicolo si è fatto riferimento a quanto riportato nelle normative SAE in particolare in:

- SAE J1100 JUN84 – Motor Vehicle Dimensions
- SAE J1516 MAR90 – Accomodation Tool Reference Point

Per maggiori dettagli della trattazione si rimanda a (23) in cui si mettono ampiamente in evidenza quelle che sono le distanze caratteristiche nonché le condizioni da rispettare per un'ottimale configurazione del sistema.

L'acquisizione dei dati provenienti dalla pedaliera ha spinto verso l'utilizzo di una pedaliera meccanica opportunamente sensorizzata, ottenuta con l'introduzione di potenziometri, le cui caratteristiche (24) sono riportate in Figura 3.13, e la progettazione di un pistone emulatore da collegare al pedale del freno per emulare le sensazioni di guida reali.

SRS 280 SEALED ROTARY SENSOR		
PERFORMANCE		
ELECTRICAL		
Electrical angle ± 2	°	10 to 350 in 10° increments
Resistance $\pm 20\%$	Ω	14.3 per degree
Hysteresis (repeatability)	°	< 0.03
Accuracy		< 1 degree (e.g. $\pm 0.3\%$ over 330°, $\pm 1\%$ over 100°)
Power dissipation at 20°C	W	0.003 W per angular degree
Applied voltage maximum	Vdc	0.2 per angular degree
Resolution		Virtually infinite
Output smoothness		To MIL-R-39023 grade C 0.1%
Insulation resistance		Greater than 100M Ω at 500Vdc
Operating mode		Voltage divider only - see Circuit Recommendation below
Wiper circuit impedance		Minimum of 100 x track resistance or 0.5M Ω (whichever is greater)
MECHANICAL		
Mechanical angle	°	360, continuous
Mounting		Use 2 x M4 socket head cap screws and M4 washer - maximum tightening torque 2Nm
Operating torque maximum		
unsealed shaft IP50 gm cm		100
sealed shaft IP66 gm cm		120
Shaft velocity maximum	°/sec	3000
Weight	g	32 (cable option A), 64 (cable option B)
Phasing		When shaft flat or shaft ident mark is in line with cable exit, wiper is at mid travel
ENVIRONMENTAL		
Life		
unsealed shaft IP50		Exceeds 20 million operations (10 x 10 ⁶ cycles) of $\pm 7.5^\circ$
sealed shaft IP66		20 million operations (10 x 10 ⁶ cycles) of $\pm 7.5^\circ$
Dither life		200 million operations (100 x 10 ⁶ cycles) of $\pm 3^\circ$, 60Hz
Operational temperature	°C	-40 to +130 (continuous)
Vibration		RTCA-DO160D, 10Hz to 2000Hz (random), 12.61g rms - all axes
Shock		Survival to 2500g - all axes
CIRCUIT RECOMMENDATION		
Hybrid track potentiometers feature a high wiper contact resistance, therefore operational checks should be carried out only in the voltage divider mode. Hybrid track potentiometers should be used only as voltage dividers, with a minimum wiper circuit impedance of 100 x track resistance or 0.5M Ω (whichever is greater). Operation with wiper circuits of lower impedance will degrade the output smoothness and affect the linearity.		
OPTIONS		
Electrical angle		Can be supplied from 10° to 350° in 10° increments
Shaft style		D or sprung shaft
Shaft sealing		IP50 or IP66
Cable length		0.5m or 2m
AVAILABILITY		
All configurations can be supplied within five days from the factory		

Figura 3.13: Scheda tecnica dei potenziometri.

Entrambi i pedali, acceleratore e freno, sono stati dotati di questo tipo di sensori, progettando supporti dedicati che fossero capaci di rendere solidali i potenziometri con i pedali stessi così da poter misurare le posizioni angolari. Le soluzioni scelte sono state differenti per i due pedali, infatti, nel pedale del freno è stato possibile utilizzare una semplice staffa di sostegno mentre l'acceleratore ha richiesto la progettazione di un "bicchierino" opportunamente sagomato per configurarsi con la geometria del potenziometro riportata in Figura 3.14.

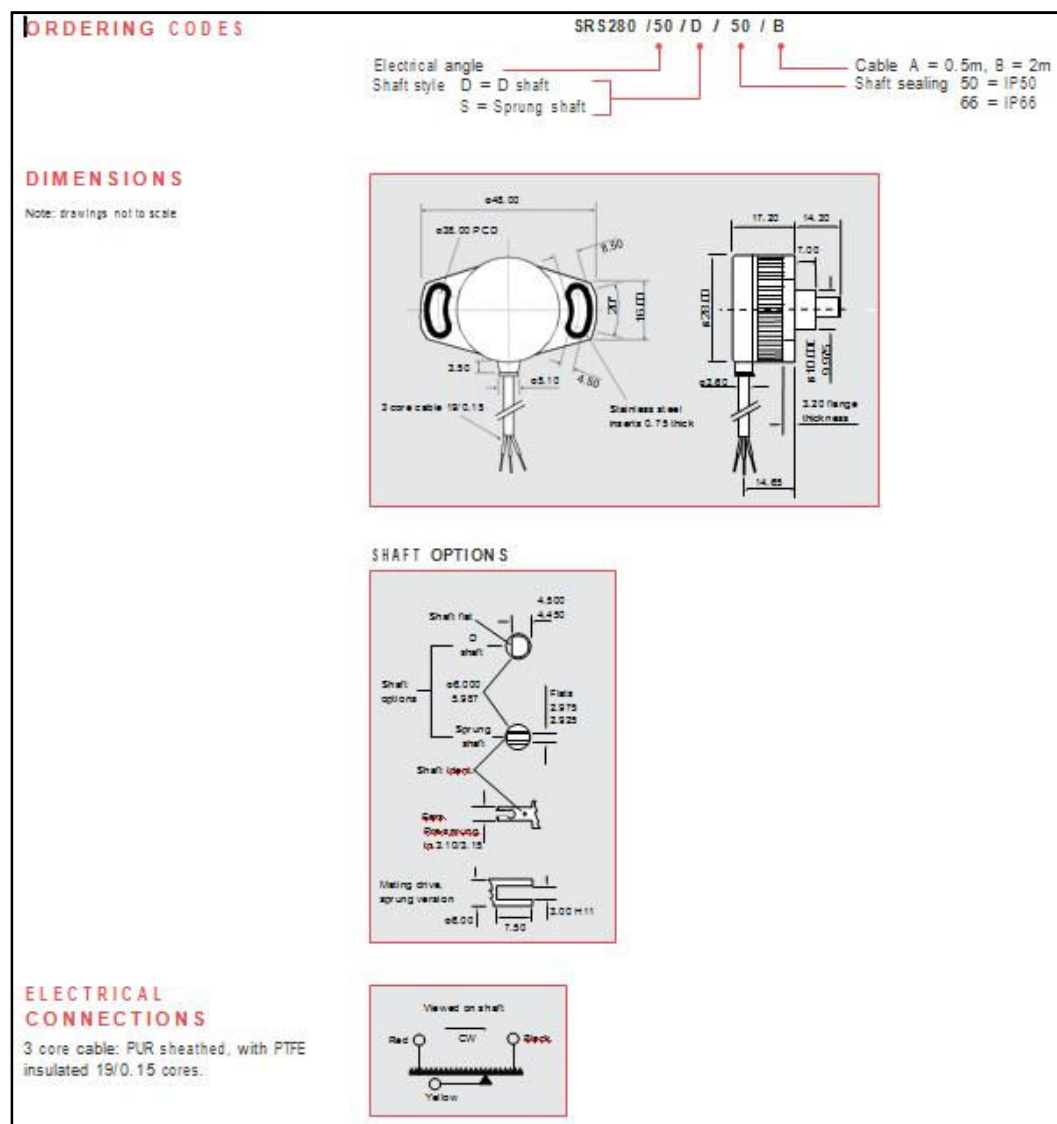


Figura 3.14: Geometria dei potenziometri.

Attraverso lo schema rappresentato alla voce “Electrical Connections”, in Figura 3.14, si è cablato il sistema in modo da poter fornire potenza attraverso un alimentatore e, utilizzando dei connettori forniti con la scheda di acquisizione NI PCI-6052E, ottenere la misura del segnale.

Dall’hardware al software

Come accennato precedentemente i potenziometri rotativi sono collegati alla scheda di acquisizione NI PCI-6052E tenendo cura di posizionare il cavo relativo all’acceleratore e quello del freno rispettivamente in A e B evidenziati in Figura 3.15.



Figura 3.15: National Instruments PCI-6052E.

Attraverso poi il collegamento con il Target PC i segnali sono utilizzati nel modello, questo è possibile anche per la presenza nella libreria di Simulink di un apposito blocco (Figura 3.16) per la scheda di acquisizione utilizzata.

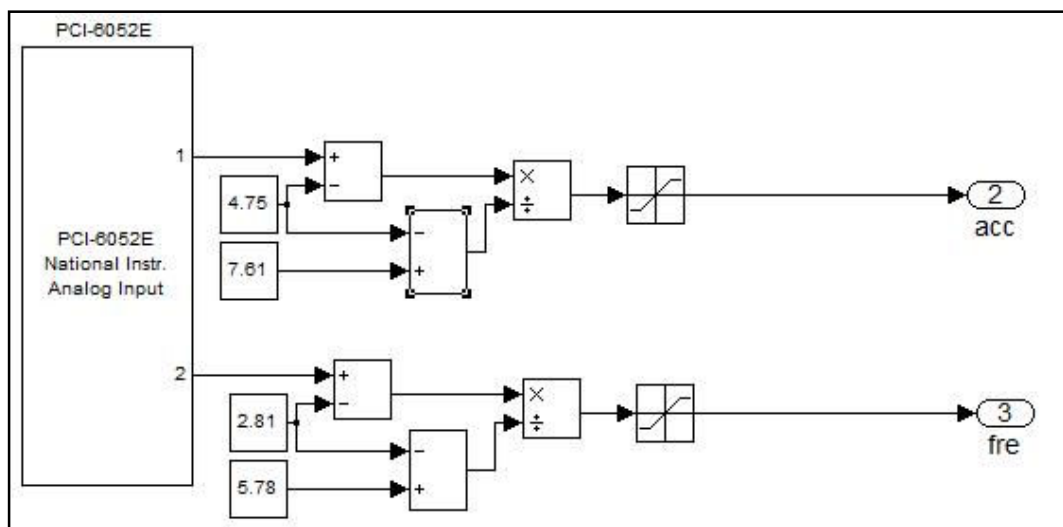


Figura 3.16: Schema a blocchi per la gestione della pedaliera.

Entrando nel dettaglio del blocco PCI-6052E e analizzando la maschera di configurazione (in Figura 3.17) nel settaggio dei parametri è possibile comprendere il motivo per cui la connessione all'alimentatore dei potenziometri deve essere fatta alloggiando i cavi neri nella sede rossa e quelli rossi in quella nera.

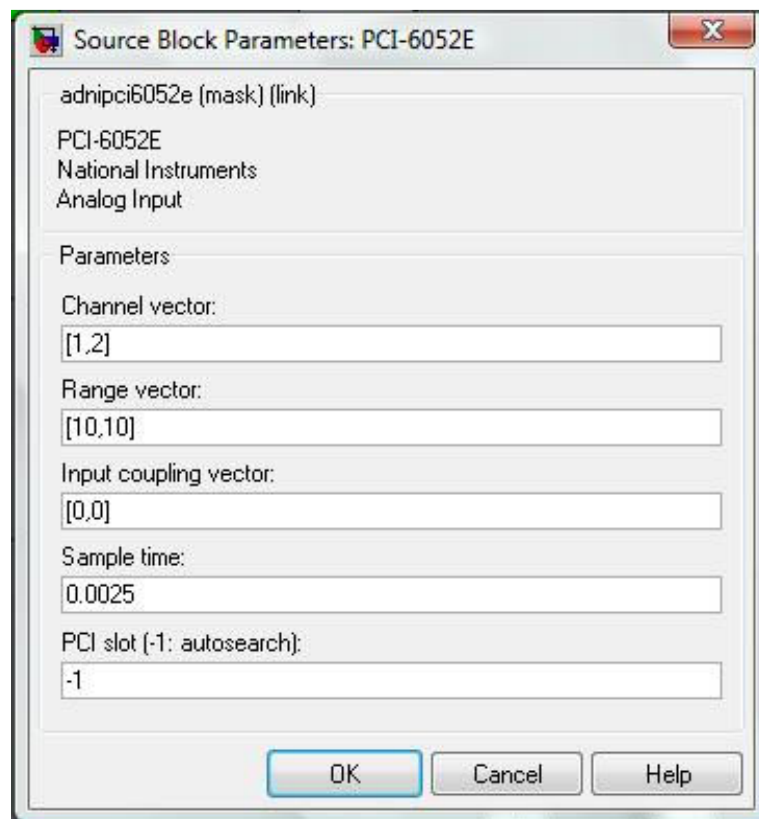


Figura 3.17: Parametri del blocco PCI-6052E

Il parametro imposto sotto la voce “Range vector” sta a indicare, come si vede dalla Tabella 3.1, che il segnale di input deve essere compreso tra 0 e 10 V, per il collegamento hardware effettuato i segnali generati dal potenziometro rispettando le polarità risultavano essere nel range tra 0 e -10 V perciò, si è ovviato a questo problema invertendo l’alimentazione. (Figura 3.18).



Figura 3.18: Collegamento all'alimentatore dei potenziometri.

Tabella 3.1: Parametri “Range Vector”.

Input Range (V)	Range Code	Input Range (V)	Range Code
-10 to +10	-10	0 to +10	10
-5 to +5	-5	0 to +5	5
-2 to +2	-2	0 to +2	2
-1 to +1	-1	0 to +1	1
-0.5 to +0.5	-0.5	0 to +0.5	0.5
-0.2 to +0.2	-0.2	0 to +0.2	0.2
-0.1 to +0.1	-0.1	0 to +0.1	0.1

In Figura 3.16 si può notare che i segnali ricevuti non si rendono subito disponibili al modello ma vanno manipolati, poichè, il modello richiede, sia per l’acceleratore che per il freno, segnali tra 0 e 1. Per riportarli in questo range è stato necessario registrare i valori in Volt che i potenziometri fornivano con i pedali in posizione di riposo e di fondo corsa, con questi dati si è potuto attuare la conversione tramite la formula:

$$\frac{S - S_{\min}}{S_{\max} - S_{\min}}, \quad (3.1)$$

dove “S” è il valore acquisito mentre le variabili con il pedice min e max rappresentano rispettivamente il valore del segnale a pedale non azionato e quello a fine corsa.

3.1.3 Il sedile

Il passaggio dalla vettura reale all'ambiente di simulazione è stato effettuato attraverso un lavoro di dimensionamento in cui si è cercato di correlare quanto riportato in letteratura con le soluzioni realmente esistenti a bordo dei veicoli.

Sono stati reperiti i dati necessari per il corretto dimensionamento e il posizionamento relativo di tutti i componenti del simulatore soprattutto per quel che riguarda il sedile.

Per questo specifico componente si è deciso di ordinare un modello di produzione FIAT (Figura 3.19) che avesse la possibilità di regolare non solo lo scorrimento longitudinale e l'inclinazione, ma anche di variare l'altezza dal suolo.



Figura 3.19: Sedile.

Il sedile è stato, comunque, ancorato a un supporto (Figura 3.20) appositamente realizzato e svincolato dall'intera struttura contenente pedali e sterzo per avere un sistema relativamente più maneggevole per eventuali spostamenti o variazioni di configurazione.

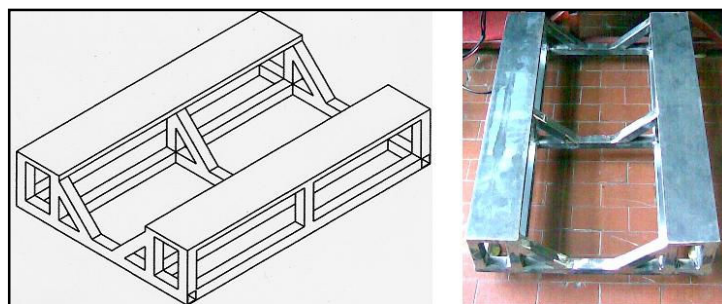


Figura 3.20: Telaio di supporto al sedile.

3.1.4 La grafica

Il sistema grafico si avvale di due postazioni: una dedicata alla rappresentazione dello scenario da proiettare sullo schermo posto di fronte la postazione di guida, che prende il nome di “Traffic Generator PC”, la seconda, Instructor Station Pc, invece, è una postazione di controllo che consente di monitorare lo stile di guida da una diversa angolazione; in più permette di introdurre alcune variabili sullo scenario standard, quali nebbia, pioggia e condizioni di luce solare.

Questi computer, insieme all’HOST PC, sono sistemati in una postazione in modo da non creare interferenze con la visuale del conducente, in più la disposizione (Figura 3.21) è stata pensata in modo da poter far gestire i vari applicativi da una sola persona.

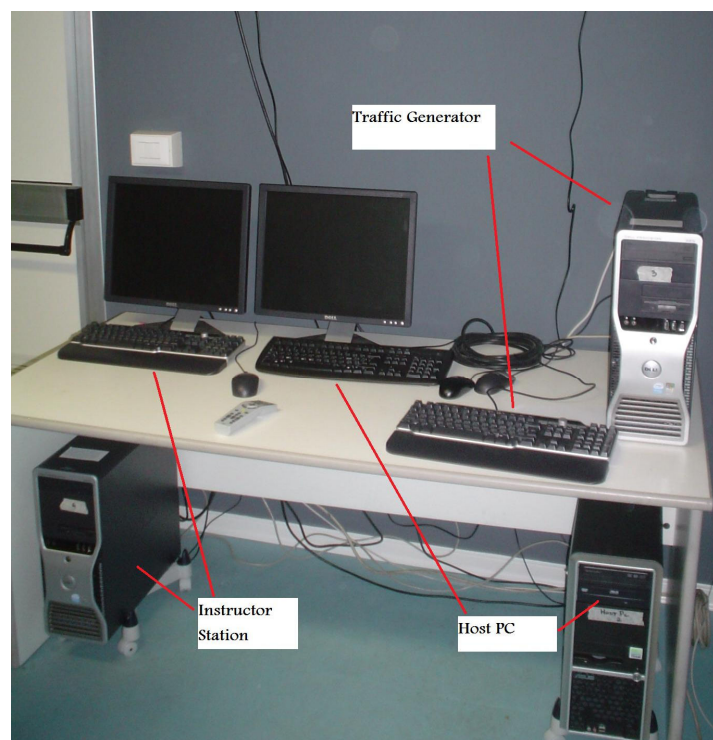


Figura 3.21: Postazione di controllo

In Figura 3.21 si nota che il Traffic Generator PC non possiede apparentemente un monitor dedicato questo perché è collegato con un proiettore, le cui caratteristiche sono riportate in Figura 3.22, che proietta su uno schermo piatto posto davanti al conducente, ma visibile anche da questa postazione.

Resolution (native)	1024 x 768
Technology	DDR – Double Data Rate DMD™ Module DLP™ by Texas Instruments
Compatibility	For PC's, Macs, SGI and other workstations
Computer Interface	UXGA, SXGA+, SXGA, XGA, SVGA
Inputs	1 VGA 15 Pin DSUB (Analogue RGB) 1 DVI (Digital RGB) 5 BNC (Analog RGB)
Remote control	via CompactControl: 2 x RS232 1 x Ethernet 10 Base-T WLAN (option)
Aspect ratio (native)	4:3
Contrast (black on/off)	2500:1
Brightness level	1100 – 1600 ANSI lumens
Noise level	TBD
Dimensions	290 (280 without lens) x 290 x 115mm
Weight	4.5 kgs
Power	90-260 VAC, 50-60Hz, 300W
Wide Angle zoom lens	1.15 – 1.34:1
Intermediate zoom lens	1.38 – 1.61:1
Long throw zoom lens	1.8 – 2.1:1
Conformance	UL, CE, FCC Class A



Figura 3.22: Caratteristiche proiettore.

Lo sviluppo grafico è stato commissionato a una ditta esterna, Antycip-Italia, con cui è stato necessario interagire, nelle varie fasi di sviluppo del modello, per fornire in maniera dettagliata e non equivoca i vari segnali necessari a collocare il veicolo nello scenario sviluppato.

Come spiegato nei paragrafi precedenti, il conducente agisce sui pedali e sullo sterzo e per mezzo di questi varia la configurazione del veicolo che dovrà essere quindi comunicata al software grafico che si occuperà di rigenerare l'ambientazione.

Le caratteristiche che questi PC possiedono sono relativamente standard ad eccezione delle schede grafiche (Figura 3.23) che presentano un'architettura notevolmente avanzata in grado di poter gestire anche applicativi più onerosi in termini di tempo.

SPECIFICHE TECNICHE / PRESTAZIONI					
	GeForce 8800 Ultra	GeForce 8800 GTX	GeForce 8800 GTS	GeForce 8800 GT	GeForce 8800 GS
Processori sequenziali	128	128	96	112	96
Clock core (MHz)	612	575	500	600	550
Clock shader (MHz)	1500	1350	1200	1500	1375
Clock memoria (MHz)	1080	900	800	900	800
Quantità memoria	768MB	768MB	640MB o 320MB	512MB	384MB
Interfaccia di memoria	384-bit	384-bit	320-bit	256-bit	192-bit
Banda di memoria (GB/s)	103.7	86.4	64	57.6	38.4
Fill Rate texture (miliardi/s.)	39.2	36.8	24	33.6	29.4

Figura 3.23: Specifiche tecniche scheda grafica.

Il software installato e adottato per la gestione dello scenario è VEGA PRIME, un prodotto commerciale Multigen-Paradigm, specificamente customizzato per questa applicazione. Questo software permette la creazione di uno scenario misto autostradale, extraurbano e urbano in cui è possibile prevedere anche la presenza di altri veicoli.



Figura 3.24: Esempio di scenario con VEGA PRIME.

Dal modello allo schermo

È necessario, come detto, fornire, alle due postazioni grafiche, i parametri fondamentali a consentire il posizionamento del veicolo nell'ambientazione virtuale.

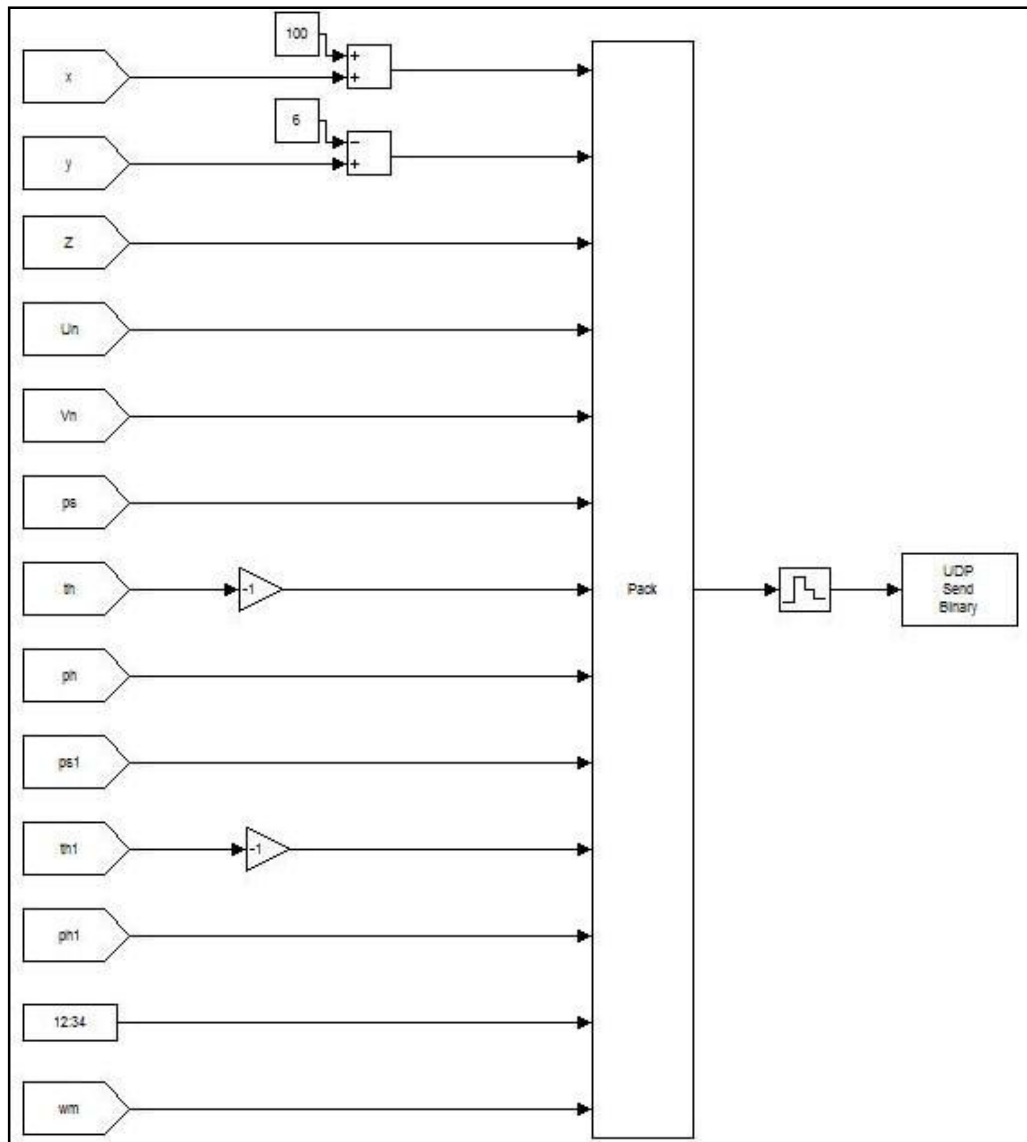


Figura 3.25: Invio dati alle stazioni di gestione della grafica.

Nel modello Simulink sono stati, così, introdotti due sistemi che permettono l'invio dei dati fornendo l'indirizzo IP del computer ricevente. Essi sono identici nella forma ma i settaggi sono ovviamente diversi dovendo interagire con due PC differenti.

In Figura 3.26 sono mostrate le configurazioni dei due blocchi UDP Send: a sinistra per il Traffic Generator PC e a destra per l’Instructor Station PC.

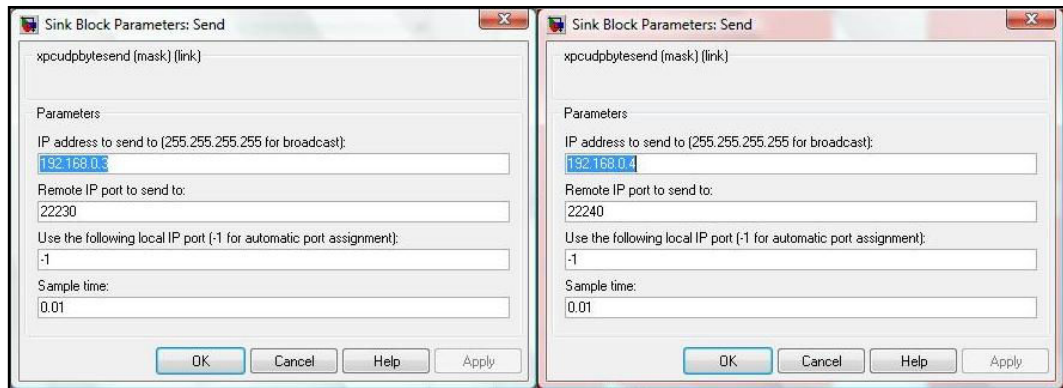


Figura 3.26: Configurazione UDP Send.

Come si vede dalla Figura 3.25, tutti i dati convergono in un unico blocco (Pack) che consente di combinarli secondo una logica determinata in unico pacchetto da dover poi inviare. Questa soluzione presenta lo svantaggio che, se, per la caratteristica del protocollo UDP, il computer ricevente non è in fase di ricezione, si perdono tutti i dati contemporaneamente, bisogna dire, però, che ricevere un solo dato sarebbe comunque inutile ai fini della gestione grafica.

Tra il “Pack” e l’”Udp send” è interposto un blocco che permette di svincolare la frequenza di soluzione del modello da quella dell’invio dei dati. Nel nostro caso, infatti, il modello gira a una frequenza di 400Hz valore inutilmente troppo elevato per la grafica i cui applicativi posso “girare” a frequenze notevolmente inferiori.

Il sistema di riferimento grafico

La Tabella 3.2 elenca i parametri che le due postazioni grafiche richiedono per l'elaborazione dell'ambiente virtuale.

Tabella 3.2: Parametri necessari alle stazioni grafiche.

PARAMETRI PER LE STAZIONI GRAFICHE		
Simbolo	Descrizione	Unità di misura
X	Coordinata longitudinale nel sistema di riferimento del veicolo	m
Y	Coordinata laterale nel sistema di riferimento del veicolo	m
Z	Altezza del baricentro della massa sospesa dal manto stradale	m
Un	Velocità longitudinale	m/s
Vn	Velocità laterale	m/s
ps	Angolo di imbardata	rad
th	Angolo di beccheggio	rad
ph	Angolo di rollio	rad
ps1	Velocità di imbardata	rad/s
th1	Velocità di beccheggio	rad/s
ph1	Velocità di rollio	rad/s
Real Time	Tempo	s
wm	Giri motore	rpm

I parametri forniti, come descritti nella Tabella 3.2, sono nel riferimento del veicolo che non necessariamente coincide con quello di VEGA PRIME, l'importante è poi utilizzarli nel modo opportuno. In Figura 3.27 sono rappresentati i due sistemi di riferimento, rendendo così chiaro anche i valori di offset inseriti a monte dell'invio dei dati, visibili in Figura 3.25.

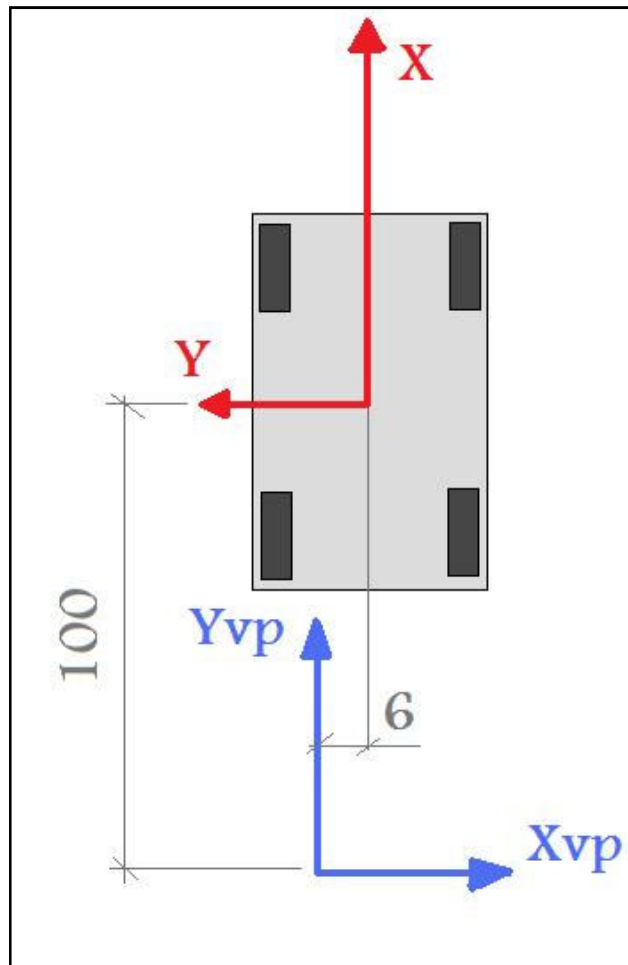


Figura 3.27: Confronto tra il riferimento VEGA PRIME e quello veicolo.

Oltre ad avere origini diverse i due sistemi di riferimento presentano anche un diverso orientamento questo si traduce in:

$$\begin{aligned} X &= Y_{vp} \\ Y &= -X_{vp} \end{aligned} \quad (3.2)$$

Considerando questo si spiega anche perché tutte le grandezze riguardanti il beccheggio devono essere invertite di segno prima dell'invio, infatti, se questo non fosse fatto, graficamente si riscontrerebbe un comportamento anomalo nelle fasi di frenata portando a visualizzare un sollevamento dell'avantreno anziché il normale trasferimento di carico che si ha in questa manovra.

3.2 Il modello

Lo sviluppo del modello, come più volte sottolineato durante la trattazione, è stato oggetto di diversi lavori in cui si sono cercati approcci differenti per ottimizzare l'esecuzione (21), per una però più semplice gestione e visualizzazione delle equazioni base della dinamica, oltre alla semplicità con cui si può gestire parametricamente il modello, è stato deciso di far riferimento allo studio presentato in (20).

Alcuni blocchi hanno richiesto, comunque, un intervento più o meno intrusivo per risolvere o ottimizzare alcuni aspetti che non consentivano un efficiente feedback o funzionamento del simulatore in tutte le manovre di guida.

Per non rendere la trattazione troppo pesante si scorreranno i blocchi del modello evidenziando equazioni e logica di implementazione in ambiente Simulink mentre per l'intera esposizione matematica si rimanda ai lavori prima citati.

3.2.1 Struttura del modello

I blocchi principali che compongono il modello matematico di veicolo sono (Figura 3.28):

- *Blocco "Modello di motore"*: fornisce la coppia erogata dal motore in base alla posizione del pedale dell'acceleratore e il numero di giri del motore stesso. L'elemento principale che lo caratterizza è una curva coppia \ numero di giri che può variare in funzione della potenza che si vuole assegnare al motore.
- *Blocco "Modello di trasmissione"*: simula un cambio automatico che varia il rapporto di trasmissione in base alla velocità del veicolo.
- *Blocco "Modello impianto frenante"*: simula l'azione di un freno restituendo la coppia frenante sulla ruota in base alla pressione del pedale del freno.
- *Blocco "Dinamica del veicolo"*: è il blocco principale del modello. E' composto da tante equazioni differenziali quanti sono i gradi di libertà del modello. In base alle azioni del guidatore sullo sterzo e alle forze generate

- dai pneumatici, restituisce le grandezze che descrivono la dinamica del veicolo.
- *Blocco “Trasferimento di carico”*: si occupa di stabilire l’entità del carico verticale agente su ogni singola ruota in base ai movimenti della massa sospesa.
 - *Blocco “Equilibrio dinamico ruote”*: restituisce la velocità angolare delle ruote in base alle coppie agenti sull’asse delle stesse.
 - *Blocco “Scorrimenti”*: si occupa di calcolare gli scorrimenti longitudinali e laterali dei pneumatici indispensabili per il calcolo delle forze a terra in presenza di azioni combinate dello sterzo con l’acceleratore o il freno.
 - *Blocco “Modello di pneumatico”*: simula l’azione di un pneumatico approssimando la curva forza a terra - scorrimento, al variare del carico verticale, con la nota formulazione di Pacejka (25).

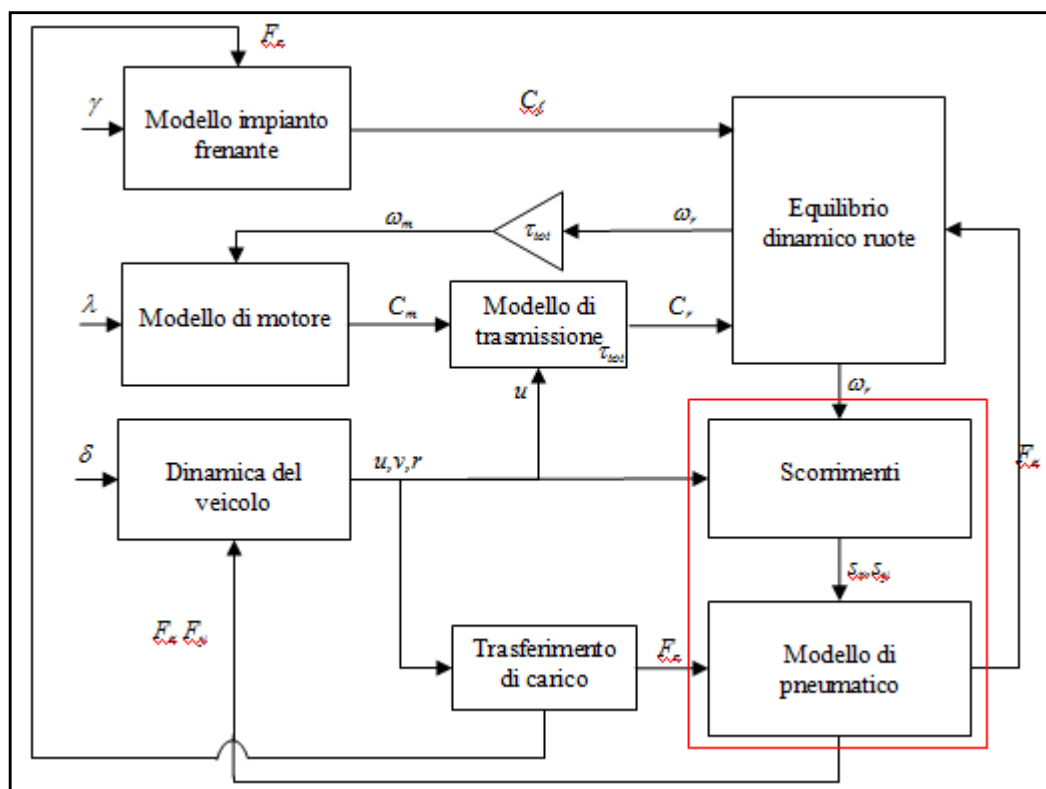


Figura 3.28: Schema Base per un modello matematico di veicolo.

A seconda della complicazione del modello in relazione soprattutto ai gradi di libertà che si hanno, i blocchi “Dinamica del veicolo” e “Trasferimento di carico” possono presentare una diversa architettura interna.

La logica con cui lavora il modello matematico è la seguente: il blocco “Modello di motore” fornisce la coppia motrice, la quale viene poi trasformata in coppia disponibile alle ruote tramite il blocco “Modello di trasmissione”. Questa a sua volta viene ripartita alle quattro ruote e poi utilizzata nel calcolo delle velocità angolari delle ruote nel blocco “Equilibrio dinamico ruote”, attraverso la conoscenza della coppia frenante, dell’inerzia angolare della ruota, della trasmissione e del motore e della forza longitudinale a terra prodotta. Queste sono utilizzate sia per ricavare la velocità angolare del motore, sia per il calcolo degli scorrimenti longitudinali degli pneumatici. Il blocco “Modello dinamico” simula la dinamica del veicolo, in base alla posizione dello sterzo e alle forze generate dagli pneumatici fornisce le velocità caratteristiche del veicolo. Note queste ultime, vengono calcolate le velocità longitudinali e laterali dei punti di contatto tra pneumatico e strada, in base alle quali e alle velocità angolari delle ruote si ricavano gli scorrimenti longitudinali e laterali degli pneumatici. Il modello di pneumatico fornisce le forze longitudinali e laterali generate dai pneumatici noti gli scorrimenti e i carichi verticali agenti sulle ruote stesse. Questi ultimi sono ricavati da un blocco trasferimento di carico che simula il comportamento delle sospensioni nota la dinamica del veicolo.

Il modello in ambiente Simulink presenta la struttura di Figura 3.29:

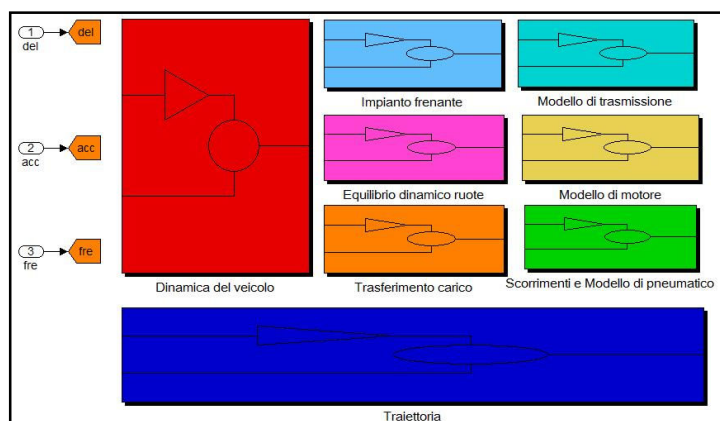
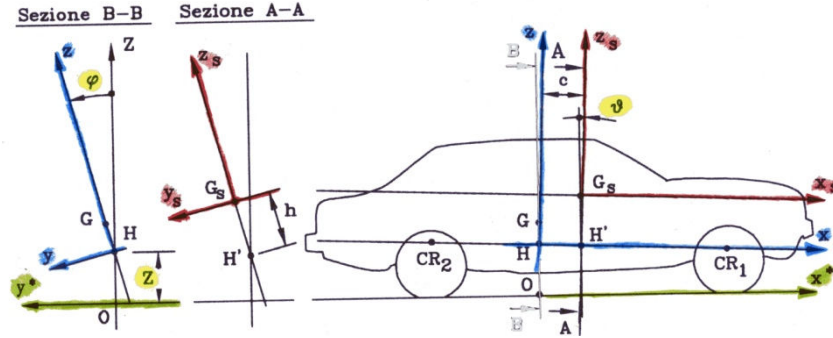


Figura 3.29: Livello I dello schema a blocchi del modello a 14GDL.

3.2.2 Blocco “Dinamica del veicolo”



$$\begin{aligned}
 \dot{u} &= \frac{1}{m} \left(F_{x_1} \cos \delta - F_{y_1} \sin \delta + F_{x_2} - \frac{1}{2} \rho u^2 S C_x - \ddot{G} J_s \right) + v \dot{\psi} \\
 \dot{v} &= \frac{1}{m} \left(F_{x_1} \sin \delta + F_{y_1} \cos \delta + F_{y_2} + m_s h \ddot{\phi} + m_1 q_{1_0} \ddot{\phi}_1 + m_2 q_{2_0} \ddot{\phi}_2 \right) - u \dot{\psi} \\
 \ddot{z}' &= \frac{1}{m_s} \left(m_s c \ddot{\phi} - (K_1 + K_2) z' + K_1 z'_1 + K_2 z'_2 + \mathcal{G} (a_m K_1 - b_m K_2) - (c_{a_1} + c_{a_2}) \dot{z}' \right. \\
 &\quad \left. + c_{a_1} \dot{z}_1 + c_{a_2} \dot{z}_2 + \dot{\mathcal{G}} (a_a c_{a_1} - b_a c_{a_2}) \right) \\
 \ddot{\psi} &= \frac{1}{J_z} \left((F_{y_1} \cos \delta + F_{x_1} \sin \delta) \left[a + (\mathcal{G} + \mathcal{G}_0) q_{1_0} \right] + F_{y_2} \left[-b + (\mathcal{G} + \mathcal{G}_0) q_{2_0} \right] - \right. \\
 &\quad \left(F_{x_{11}} \cos \delta - F_{y_{11}} \sin \delta \right) \left[\frac{t}{2} - \phi_1 q_{1_0} \right] - (F_{x_{12}} \cos \delta - F_{y_{12}} \sin \delta) \left[-\frac{t}{2} - \phi_1 q_{1_0} \right] \\
 &\quad - F_{x_{21}} \left[\frac{t}{2} - \phi_2 q_{2_0} \right] - F_{x_{22}} \left[-\frac{t}{2} - \phi_2 q_{2_0} \right] - (F_{y_1} + F_{y_2}) t^* + J_{xz} \ddot{\phi} \\
 &\quad \left. - \dot{u} (m_s h \phi + m_1 q_{1_0} \phi_1 + m_2 q_{2_0} \phi_2) + J_{xz_1}^* \ddot{\phi}_1 + J_{xz_2}^* \ddot{\phi}_2 \right) \\
 \ddot{\phi} &= \frac{1}{J_y} \left(m_s g h \mathcal{G} + (F_{x_1} \cos \delta - F_{y_1} \sin \delta) q_{1_0} + F_{x_2} q_{2_0} - \frac{1}{2} \rho u^2 S C_x h - J_s \dot{u} + m_s c \ddot{z}' \right. \\
 &\quad \left. - (a_a^2 c_{a_1} + b_a^2 c_{a_2}) \dot{\mathcal{G}} + (a_a c_{a_1} - b_a c_{a_2}) \dot{z}' - a_a c_{a_1} z'_1 + b_a c_{a_2} z'_2 - (a_m^2 K_1 + b_m^2 K_2) \mathcal{G} \right. \\
 &\quad \left. + (a_m K_1 + b_m K_2) z' - a_m K_1 z'_1 + b_m K_2 z'_2 \right) \\
 \ddot{\phi} &= \frac{1}{J_x} \left(m_s g h \phi + J_{xz} \ddot{\psi} + m_s h (\dot{v} + \dot{\psi} u) - (\Gamma_1 + \Gamma_2) \dot{\phi} + \Gamma_1 \dot{\phi}_1 \right. \\
 &\quad \left. + \Gamma_2 \dot{\phi}_2 - (\chi_1 + \chi_2) \phi + \chi_1 \phi_1 + \chi_2 \phi_2 \right) \\
 \ddot{z}'_1 &= \frac{1}{m_1} \left(- (c_{a_1} + 2c_p) \dot{z}'_1 + c_{a_1} \dot{z}' - a_a c_{a_1} \dot{\mathcal{G}} - (K_1 + 2P) z'_1 + K_1 z' - a_m K_1 \mathcal{G} \right) \\
 \ddot{z}'_2 &= \frac{1}{m_2} \left(- (c_{a_2} + 2c_p) \dot{z}'_2 + c_{a_2} \dot{z}' + b_a c_{a_2} \dot{\mathcal{G}} - (K_2 + 2P) z'_2 + K_2 z' + b_m K_1 \mathcal{G} \right) \\
 \ddot{\phi}_1 &= \frac{1}{J_{x_1}^*} \left(- (F_{x_1} \sin \delta + F_{y_1} \cos \delta) q_{1_0} + J_{xz_1}^* \ddot{\psi} + m_1 q_{1_0} (\dot{v} + u \dot{\psi}) - \left(\Gamma_1 + c_p \frac{t^2}{2} \right) \dot{\phi}_1 \right. \\
 &\quad \left. + \Gamma_1 \dot{\phi} - \left(\chi_1 + P \frac{t^2}{2} \right) \phi_1 + \chi_1 \phi \right) \\
 \ddot{\phi}_2 &= \frac{1}{J_{x_2}^*} \left(- F_{y_2} q_{2_0} + J_{xz_2}^* \ddot{\psi} + m_2 q_{2_0} (\dot{v} + u \dot{\psi}) - \left(\Gamma_2 + c_p \frac{t^2}{2} \right) \dot{\phi}_2 \right. \\
 &\quad \left. + \Gamma_2 \dot{\phi} - \left(\chi_2 + P \frac{t^2}{2} \right) \phi_2 + \chi_2 \phi \right)
 \end{aligned} \tag{3.3}$$

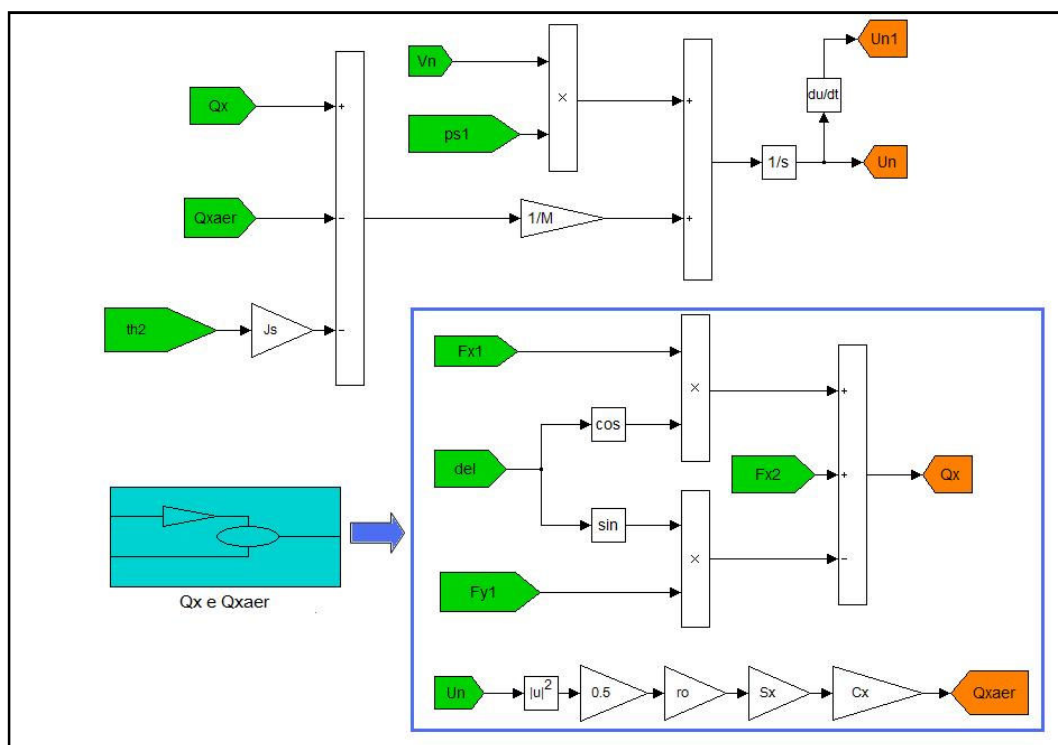


Figura 3.30: Blocco “Velocità Longitudinale”.

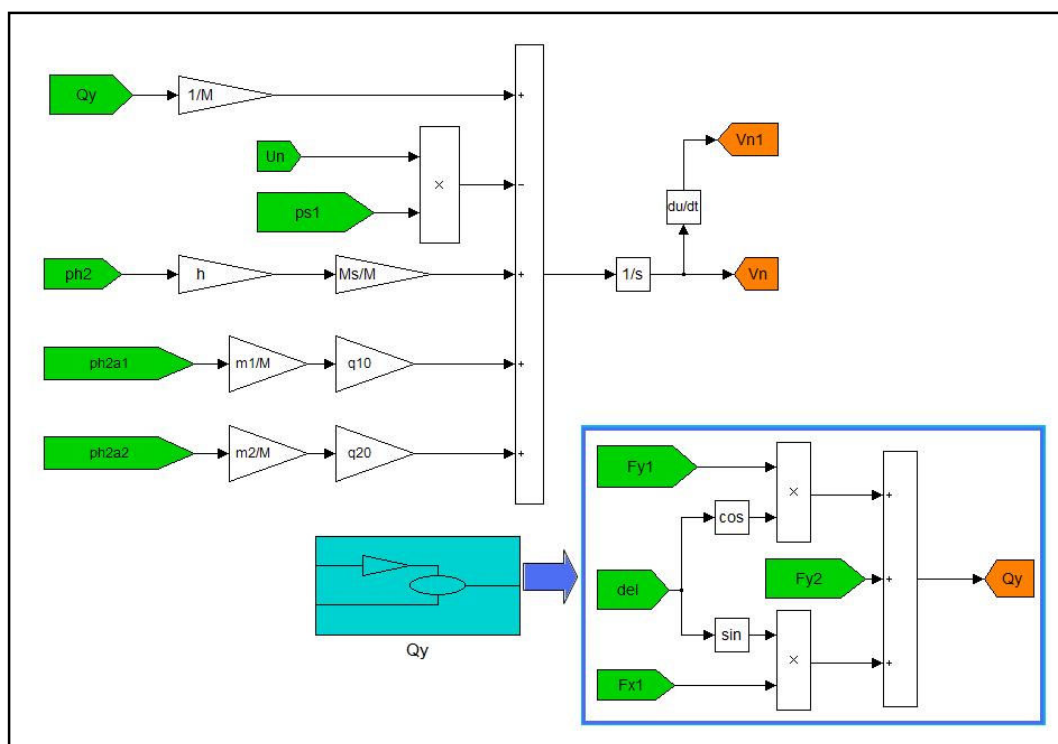


Figura 3.31: Blocco “Velocità Laterale”.

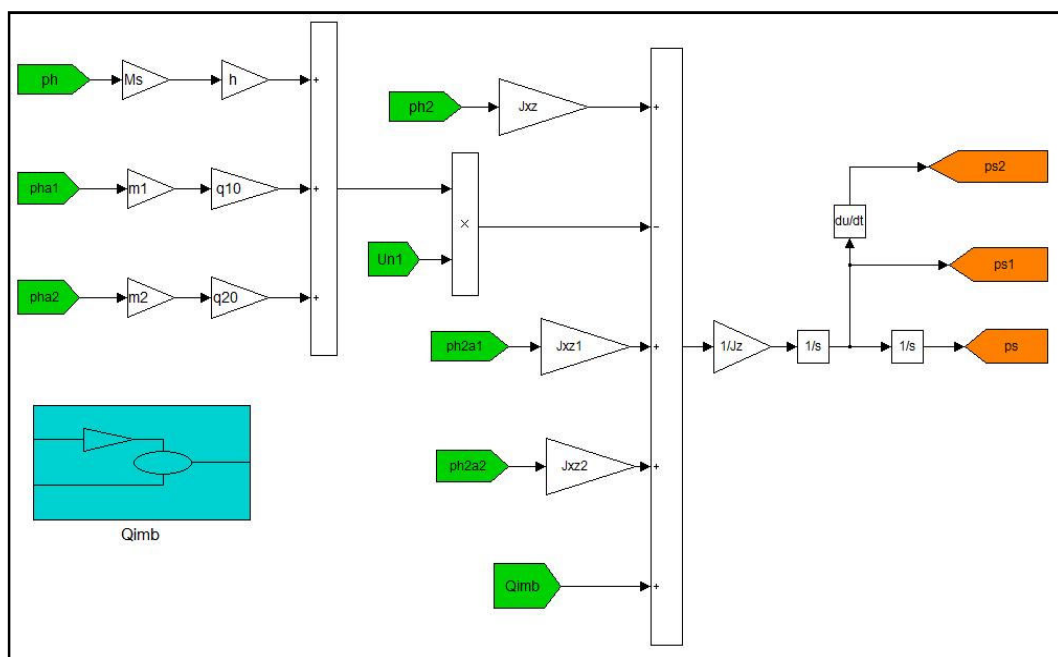


Figura 3.32: Blocco “Imbardata”.

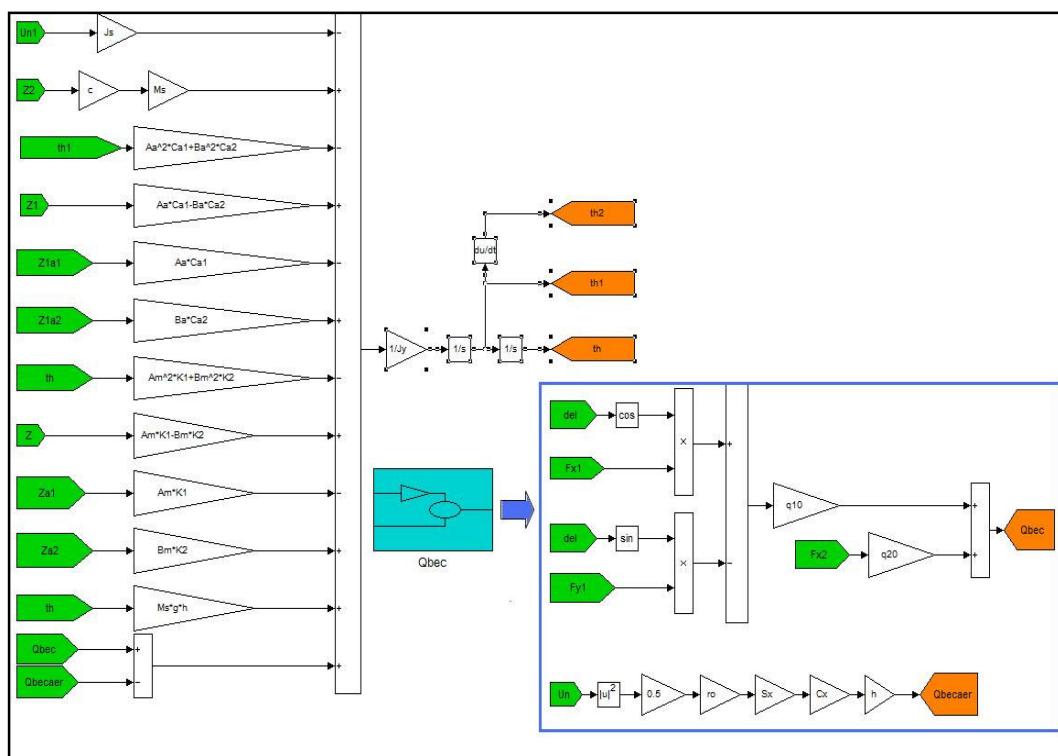


Figura 3.33: Blocco “Beccheggio”.

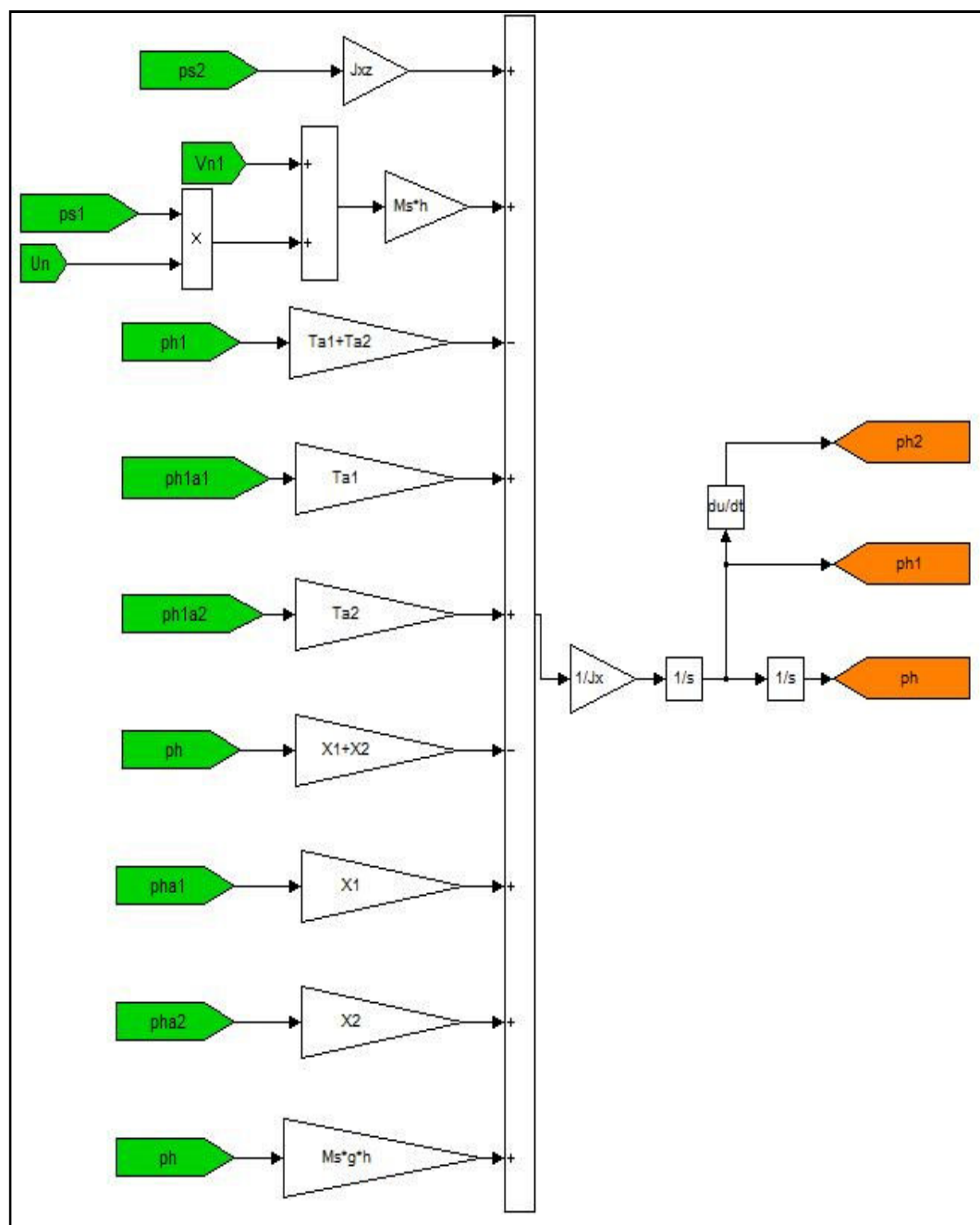


Figura 3.34: Blocco "Rollio".

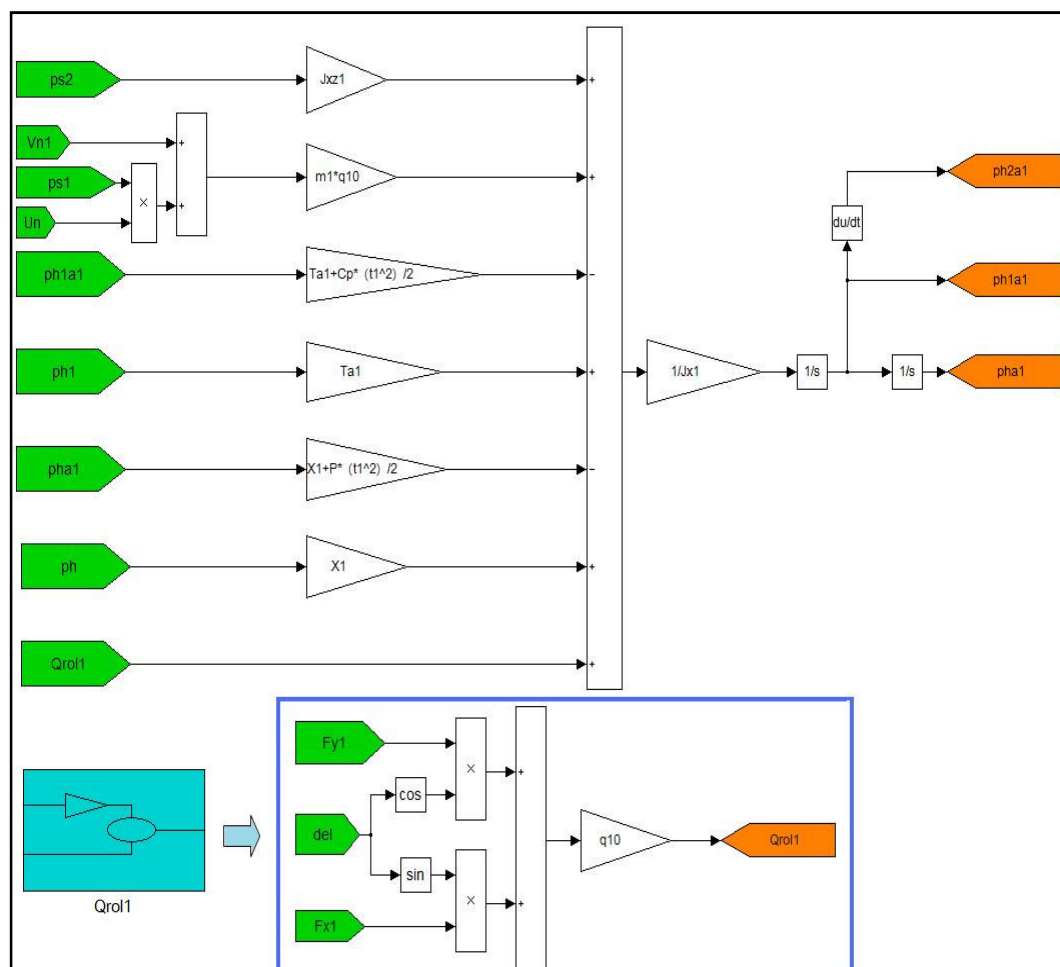


Figura 3.35: Blocco “Rollio Assale Anteriore”.

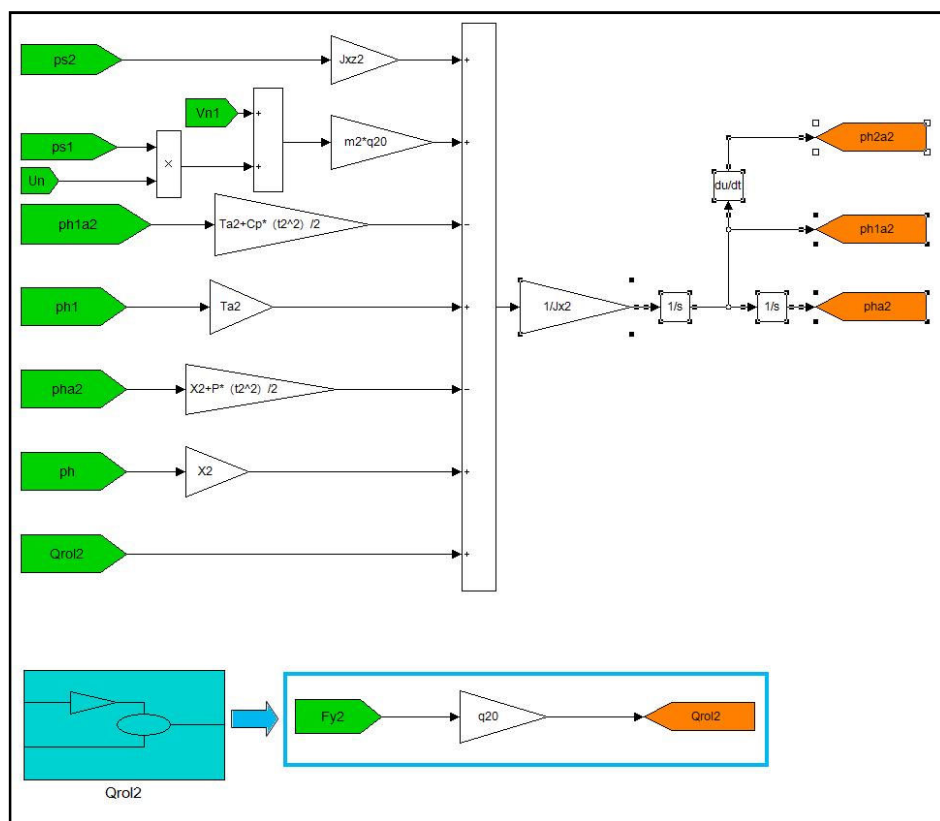


Figura 3.36: Blocco “Rollio Assale Posteriore”.

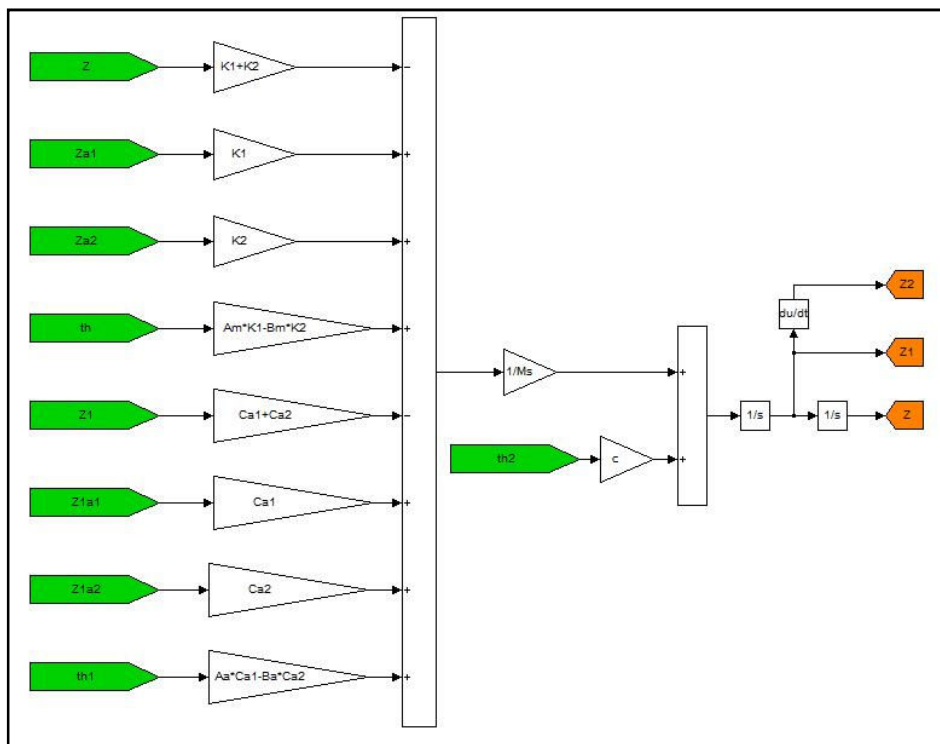


Figura 3.37: Blocco “Scuotimento”.

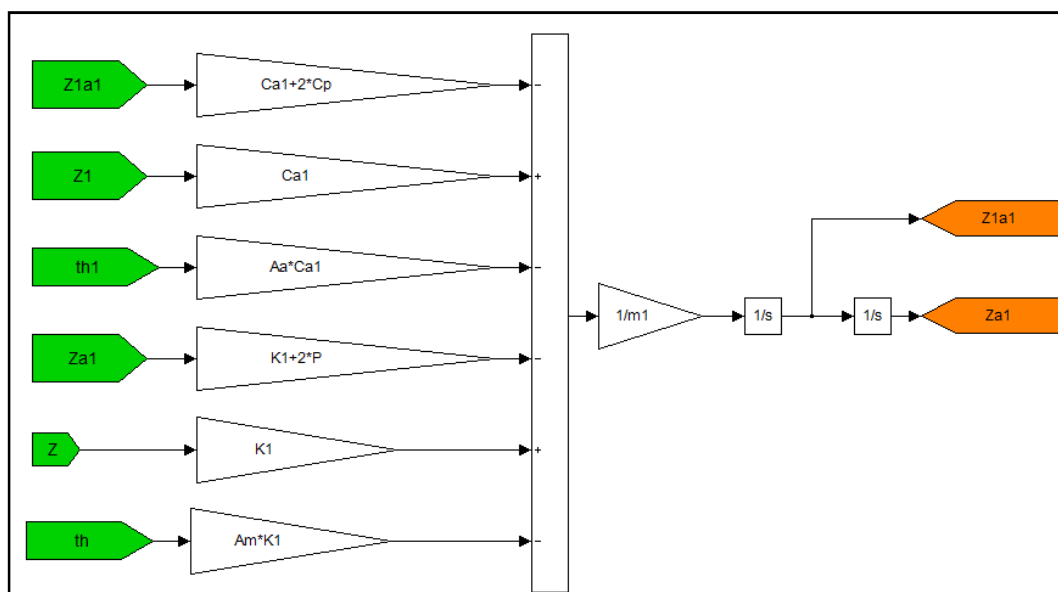


Figura 3.38: Blocco "Squoting Assale Anteriore".

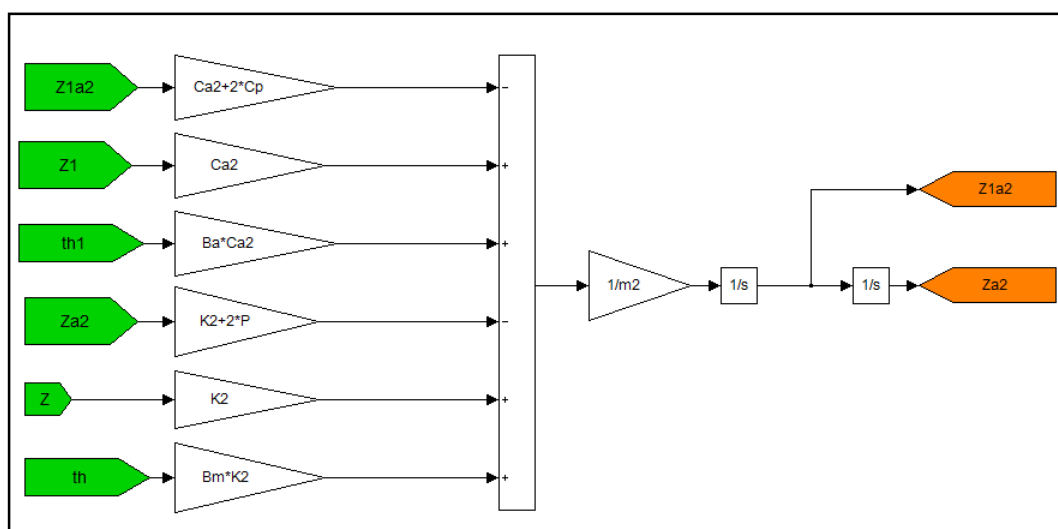
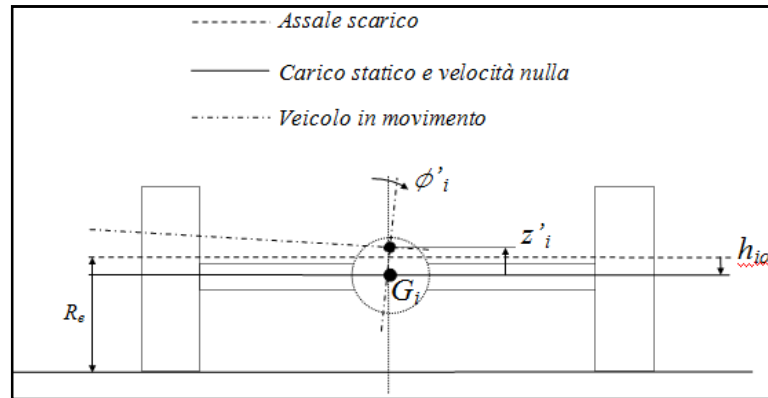


Figura 3.39: Blocco "Squoting Assale Posteriore".

3.2.3 Blocco “Trasferimento di carico”



$$F_{z_{ij}} = P \left(h_{i0} - z'_i \mp \frac{t_i}{2} \phi_i \right) \quad (3.4)$$

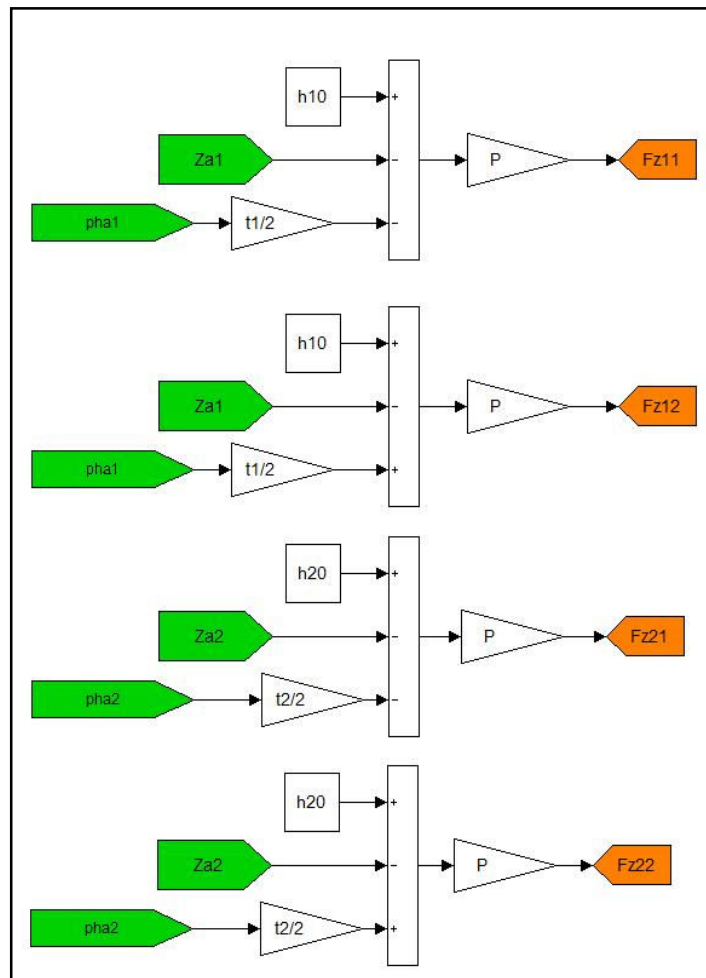


Figura 3.40: Blocco “Trasferimento di carico”.

3.2.4 Blocco “Trasmissione”

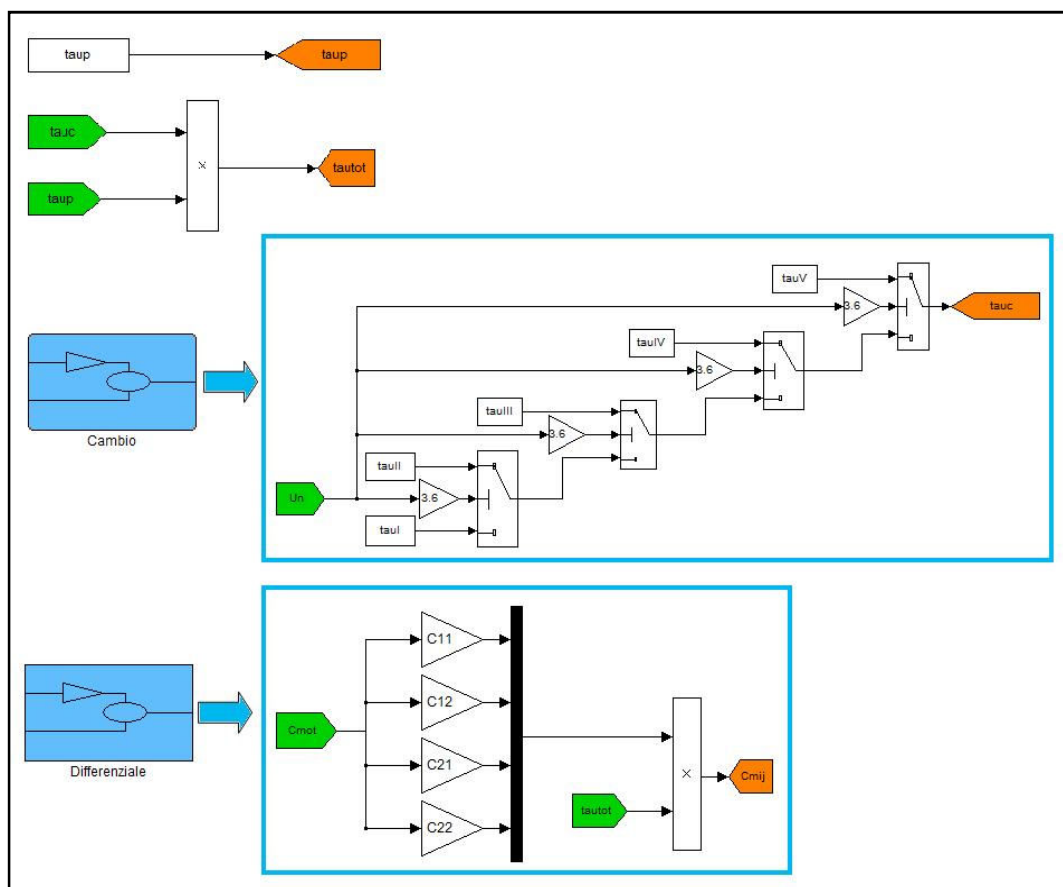
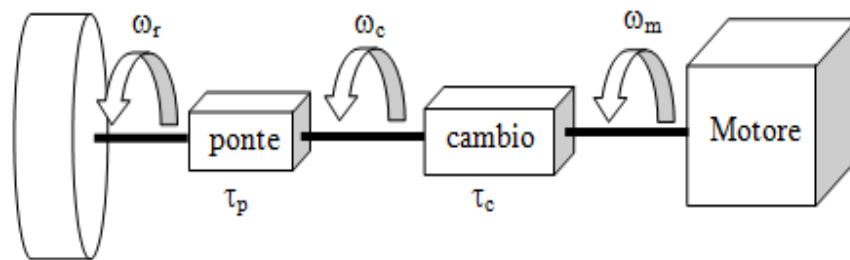


Figura 3.41: Blocco “Trasmissione”.

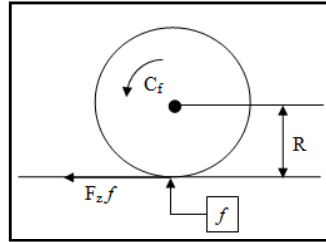
3.2.5 Blocco “Impianto Frenante”

Il blocco presente nel modello per le manovre di frenatura fornisce la coppia frenante in funzione della posizione del pedale del freno.

Ricevuto il segnale, γ , dal pedale del freno e riportato tra 1 (pressione massima) e 0 (pedale libero), come descritto nel paragrafo 3.1.2, si può determinare la coppia frenante effettiva come una frazione di quella massima possibile. Traducendo in equazione quanto detto, si ha:

$$C_{fij} = \gamma \cdot F_{z_{ij}} \cdot f \cdot R_{ij}, \quad (3.5)$$

dove $F_{z_{ij}}$ è il carico verticale sulla singola ruota, f il coefficiente di aderenza ruota/strada e R_{ij} indica la distanza tra il centro ruota e il punto di contatto a terra. Il pedice i differenzia l'assale considerato ($i = 1$ avantreno, $i = 2$ retrotreno), mentre j si riferisce alla ruota ($j = 1$ sinistra, $j = 2$ destra).



L'hardware del pedale del freno (23) prevede la presenza di un pistone emulatore per rispettare e ricostruire quelle che sono le caratteristiche fondamentali di un impianto di frenatura meccanico, si è cercato, cioè, di rispecchiare la curva forza del pilota - spostamento del pedale presente sui normali veicoli di serie.

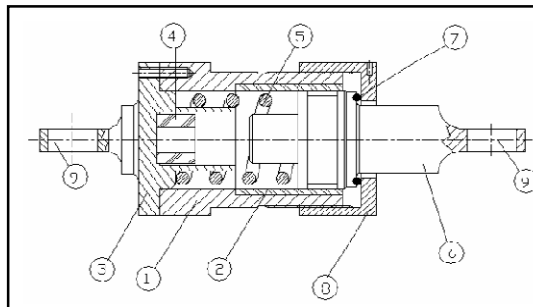


Figura 3.42: Cilindro emulatore pedale del freno.

Poiché la forza al pedale è legata all'azione frenante si è pensato di introdurre in Simulink una lookup table in modo da avere una coppia frenante minore per le posizioni del pedale che comportano il funzionamento della sola molla (5 in Figura 3.42) presente nel pistone emulatore e di portarla a valori più alti quando si entra nel campo di funzionamento del tampone in gomma (4 in Figura 3.42).

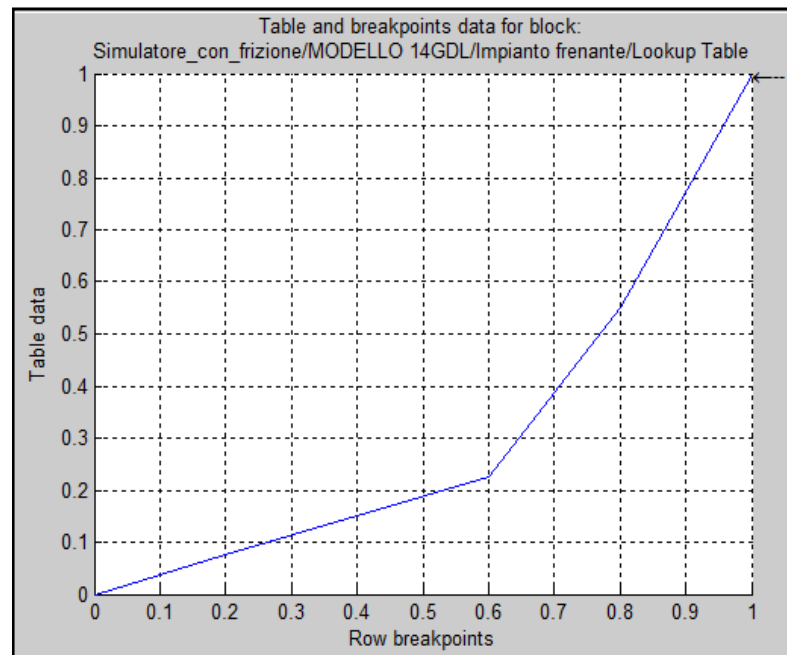


Figura 3.43: Lookup Table per segnale del freno.

Lo schema Simulink di quanto descritto è quello riportato in Figura 3.44, dove l'ingresso "fre" corrisponde a γ dell'equazione (3.5).

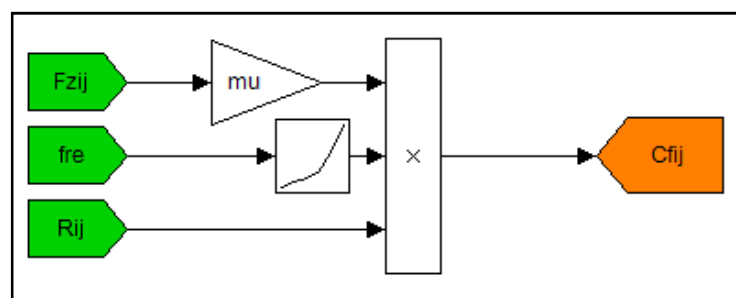


Figura 3.44: Blocco "Impianto frenante".

3.2.6 Blocco “Equilibrio dinamico ruote”

Il sistema fornisce la velocità angolare delle ruote motrici in base all'equilibrio dinamico delle coppie agenti sulla ruota e alle inerzie della ruota stessa e della trasmissione. Il modello matematico, nel suo utilizzo all'interno del simulatore, deve garantire al veicolo la possibilità di accelerare e frenare sia in marcia avanti che in retromarcia (anche se quest'ultima condizione non prevista allo stato attuale del simulatore potrebbe comunque rientrare negli sviluppi futuri).

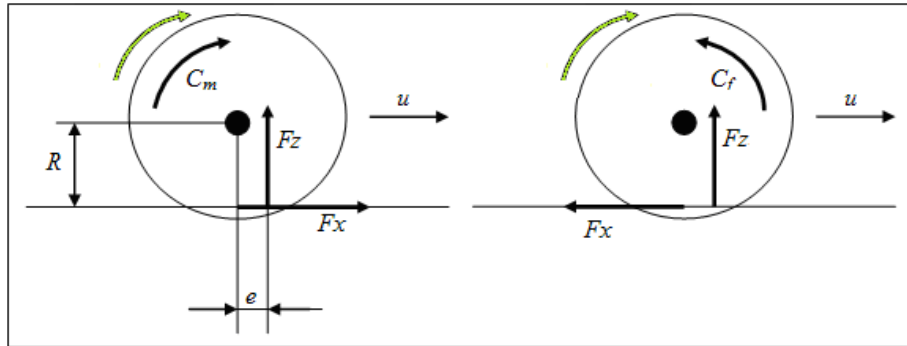


Figura 3.45: Equilibrio ruota marcia avanti.

$$J_{r_{TOT}} \dot{\omega}_r = C_m - F_z e - F_x R; \quad (3.6)$$

$$J_{r_{TOT}} \dot{\omega}_r = -C_f - F_z e + F_x R. \quad (3.7)$$

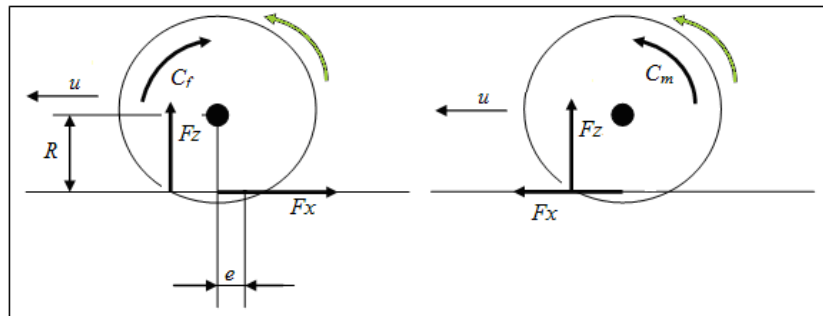


Figura 3.46: Equilibrio ruota retromarcia.

$$J_{r_{TOT}} \dot{\omega}_r = C_f + F_z e - F_x R; \quad (3.8)$$

$$J_{r_{TOT}} \dot{\omega}_r = -C_m + F_z e + F_x R; \quad (3.9)$$

dove $J_{r_{Tot}}$ è l'inerzia angolare della ruota più quelle del motore e della trasmissione riportate al mozzo della ruota (Figura 3.48), C_m è la coppia motrice agente sulla ruota, F_x è la forza in direzione longitudinale agente sul pneumatico, R è il suo braccio rispetto all'asse della ruota (Figura 3.49), C_f è la coppia frenante proveniente dal blocco “impianto frenante” e F_{ze} è la resistenza al rotolamento agente sul pneumatico.

Considerando che il segno di F_x è l'opposto del segno dello scorrimento s_x (vedere paragrafo 3.2.7), è possibile riunire (3.6), (3.7), (3.8), (3.9) in:

$$J_{r_{Tot}} \dot{\omega} = C_m - \text{segno}(\omega) [C_f + F_{ze}] - F_x R. \quad (3.10)$$

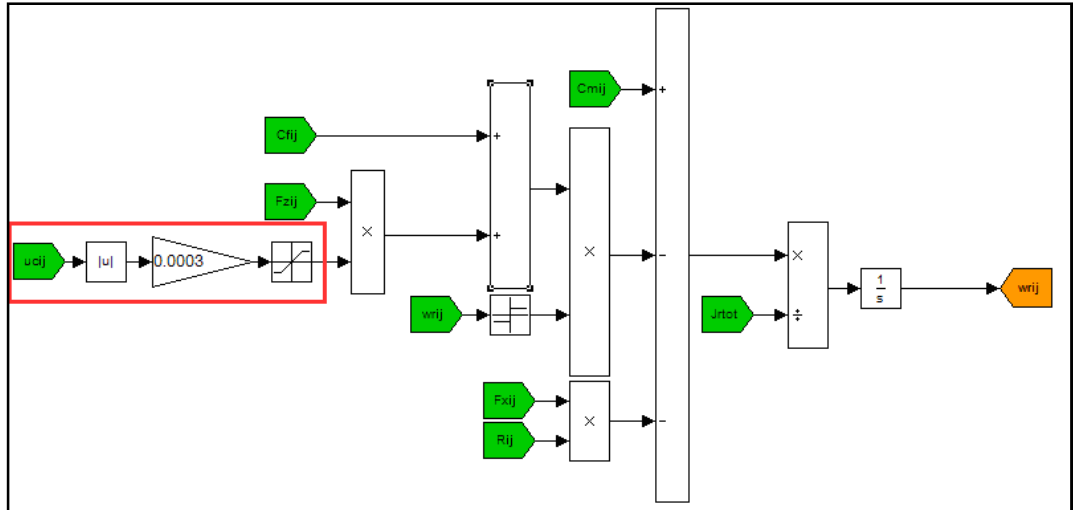
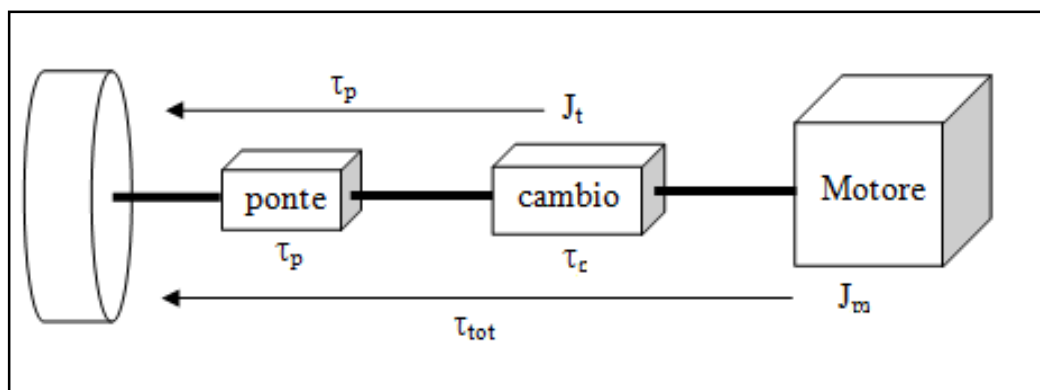


Figura 3.47: Blocco “Equilibrio dinamico ruote”.

Nel riquadro rosso è evidenziato il contributo all'equilibrio da parte della resistenza al rotolamento. Al fine di evitare la presenza anche a veicolo fermo, si è imposta una relazione lineare tra la velocità del mozzo ruota e il braccio e del carico verticale. In base a (25) per pneumatici da autovettura di dimensioni normali su strada asfaltata e vale all'incirca 0,0045. Il valore assoluto della velocità longitudinale del centro ruota è messo per evitare una inversione di segno quando si passa al funzionamento in retromarcia considerato già attraverso il segno di ω .

Momento di inerzia ridotto alla ruota



$$J_{tot} = J_r + \frac{J_m}{4} \tau_{tot}^2 + \frac{J_t}{4} \tau_p^2. \quad (3.11)$$

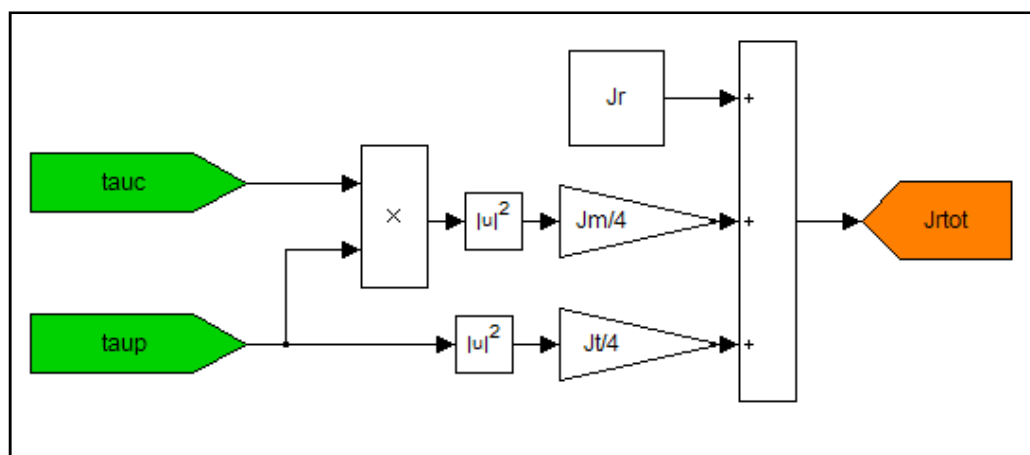


Figura 3.48: Blocco “Inerzia ruota totale”.

Distanza centro ruota – terreno

$$\begin{aligned}
 R_{11} &= R_0 - h_{10} + Z_{a1} + \phi_{a1} \frac{t_1}{2} \\
 R_{12} &= R_0 - h_{10} + Z_{a1} - \phi_{a1} \frac{t_1}{2} \\
 R_{21} &= R_0 - h_{20} + Z_{a2} + \phi_{a2} \frac{t_2}{2} \\
 R_{21} &= R_0 - h_{20} + Z_{a2} - \phi_{a2} \frac{t_2}{2}
 \end{aligned}
 \tag{3.12}$$

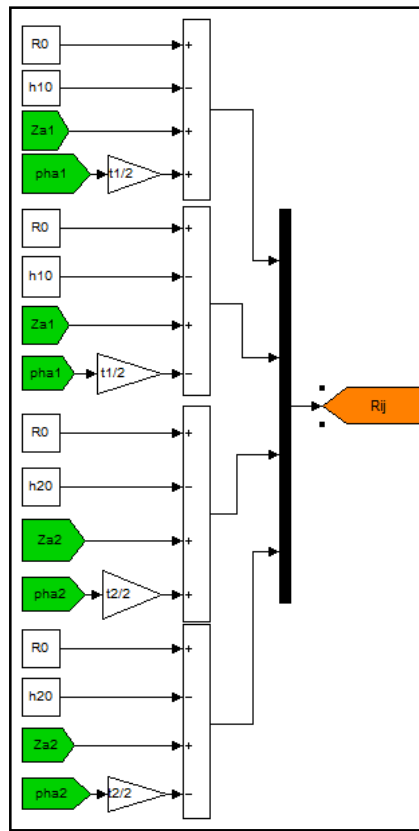


Figura 3.49: Blocco “Distanza centro ruota-terreno”.

3.2.7 Blocco “Scorrimenti e Modello di Pneumatico”

3.2.7.1 Scorrimenti

Formulazione classica scorrimenti

In Figura 3.50 è indicato il sistema di riferimento adottato in questo studio. L'origine O viene individuata dall'intersezione di tre piani: il piano stradale, il piano medio longitudinale del cerchio e il piano verticale contenente l'asse di rotazione della ruota. L'intersezione del piano longitudinale con la strada individua l'asse x , diretto nel senso di avanzamento della ruota, mentre l'asse z è ortogonale alla strada e diretto verso l'alto. L'asse y , ortogonale agli altri due, coincide con la proiezione sul piano stradale dell'asse della ruota ed è diretto in modo da considerare positive le rotazioni antiorarie. Si consideri un moto puramente traslatorio dell'asse della ruota con velocità costante V_c .

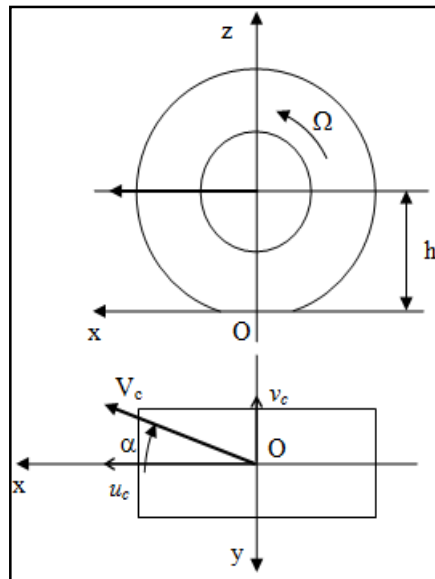


Figura 3.50: Sistema di riferimento ruota.

L’“angolo di deriva” (*slip angle*), α , rappresenta l'angolo fra l'asse x e la velocità di avanzamento V_c , si definisce positivo se diretto in senso orario.

Per definizione, quindi:

$$\tan \alpha = \frac{v_c}{u_c}. \quad (3.13)$$

Il cerchio, oltre a traslare, ha anche un moto rotatorio attorno al proprio asse con velocità angolare $\Omega = (0, \Omega, 0)$ dipendente dalla velocità, V_C , dalla coppia, T , (wheel drive torque) applicata all'asse della ruota (coppia motrice se $T > 0$, frenante se $T < 0$), dall'angolo di deriva, α , dal carico verticale, F_z , nonché dal tipo di pneumatico, dalla pressione di gonfiaggio, ecc.

La definizione classica del vettore scorrimento è quindi:

$$s = (s_x, s_y) = \left(\frac{u_c - \Omega R_r}{u_c}, \frac{v_c}{u_c} \right), \quad (3.14)$$

dove R_r indica il raggio di rotolamento del cerchio (il pneumatico non può essere considerato un corpo rigido) nel caso di puro rotolamento, cioè nel caso non sia applicata alcuna coppia motrice o frenante all'asse della ruota.

R_r è funzione dell'angolo di deriva (25), ma questa dipendenza è trascurabile e quindi può essere assunto costante e di valore maggiore della distanza da terra del centro ruota, h_r , ma inferiore al raggio esterno R_e della ruota indeformata. Un valore indicativo può essere $h_r/R_r = 0.95$.

Formulazione scorrimenti per le basse velocità

Come si vede nell'equazione 3.14 sia s_x che s_y presentano al denominatore u_c , in caso di velocità basse o addirittura nulle questo tipo di formulazione porta ad una forma indeterminata dell'espressione.

Diversi studi (26) sono stati fatti per risolvere gli inconvenienti provenienti dall'approccio classico. L'idea base è quella di introdurre un ritardo di risposta attraverso una formulazione differenziale in grado di rappresentare i transitori e di riportarsi in condizione di regime alla formulazione classica.

Si può perciò scrivere:

$$\dot{s}_x \tau + s_x = \frac{u_c - \omega R_r}{u_c} \Rightarrow \dot{s}_x B_x + u_c s_x = u_c - \omega R_r, \quad (3.15)$$

$$\dot{s}_y \tau + s_y = \frac{v_c}{u_c} \Rightarrow \dot{s}_y B_y + u_c s_y = v_c, \quad (3.16)$$

dove B_x e B_y rappresentano le lunghezze di rilassamento longitudinale e laterale del pneumatico.

Scorrimenti-Forze longitudinali per l'equilibrio dinamico delle ruote

Le forze longitudinali sul pneumatico, F_x , utilizzate poi nel blocco dell'equilibrio dinamico delle ruote, sono:

$$F_x = -\frac{s_x}{s_{tot}} F_{tot} = -\frac{s_x}{\sqrt{s_x^2 + s_y^2}} F_{tot} \quad (3.17)$$

In generale abbiamo che, considerando F_{tot} sempre positivo, il segno di F_x è l'opposto di quello di s_x . Quindi per rendere valida l'espressione 3.10 bisogna modificare l'equazione dello scorrimento in:

$$\dot{s}_x \tau + s_x = \frac{u_c - \omega R_r}{|u_c|} \quad (3.18)$$

Con questa formulazione si ottengono le condizioni rappresentate in Figura 3.51.

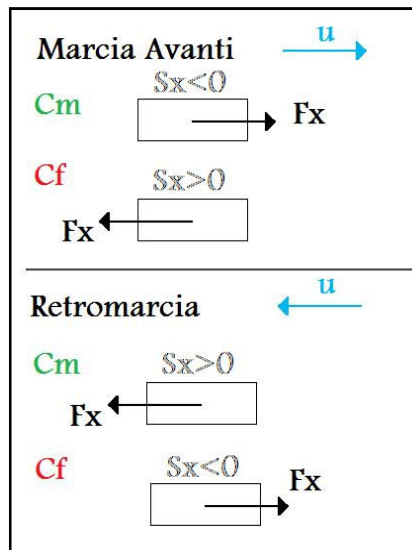


Figura 3.51: Forza longitudinale in funzione dello scorrimento.

Se si confrontano le direzioni di F_x in Figura 3.51 con quelle riportate in Figura 3.45 e Figura 3.46 si vede che sono concordi e quindi l'equazione 3.10 è coerente.

Scorrimenti in Simulink

$$\dot{s}_x = \frac{u_c - \omega R_r - |u_c| s_x}{B_x} \quad (3.19)$$

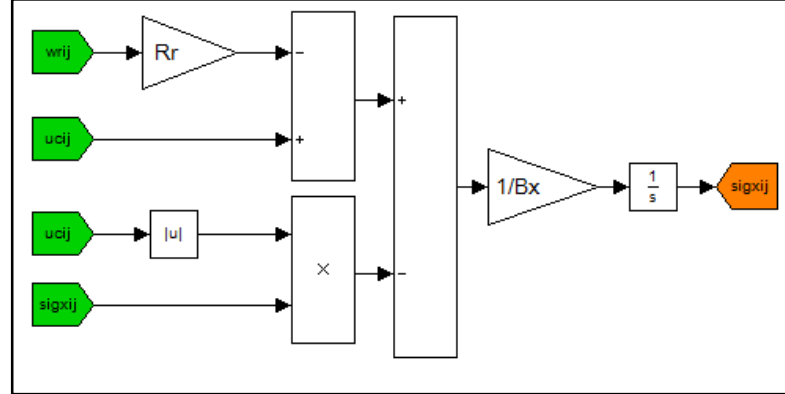


Figura 3.52: Blocco “Scorrimento longitudinale”.

$$\dot{s}_y = \frac{v_c - |u_c| s_y}{B_y} \quad (3.20)$$

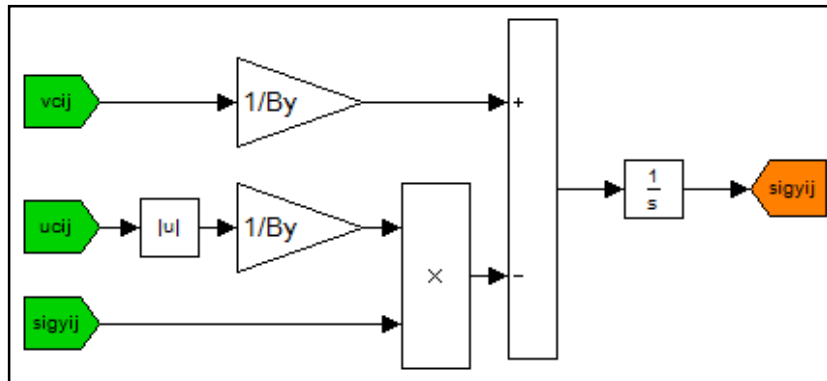


Figura 3.53: Blocco “Scorrimenti Lateral”.

$$s_{tot} = \sqrt{s_x^2 + s_y^2} \quad (3.21)$$

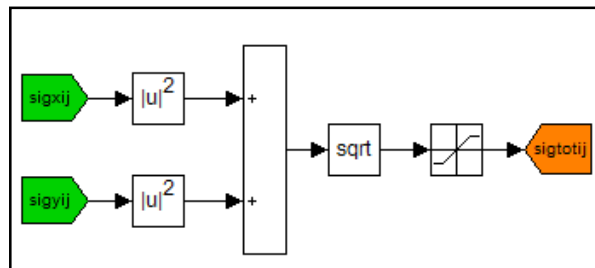


Figura 3.54: Blocco “Scorrimenti Total”.

3.2.7.2 Velocità centro ruota

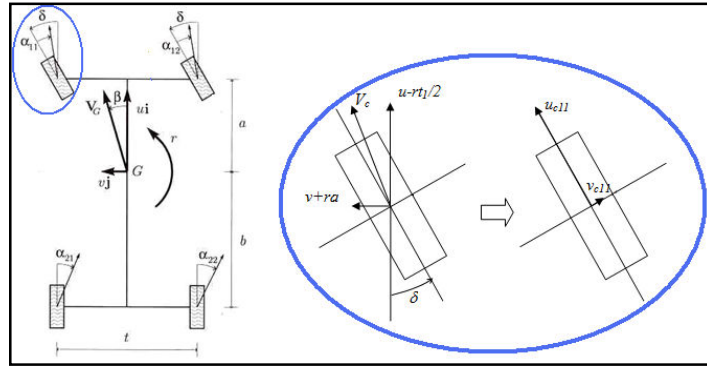


Figura 3.55: Velocità centro ruota.

$$\begin{aligned}
 u_{c11} &= \left(u - r \frac{t_1}{2} \right) \cos \delta + (v + ra) \sin \delta \\
 v_{c11} &= - \left(u - r \frac{t_1}{2} \right) \sin \delta + (v + ra) \cos \delta \\
 u_{c12} &= \left(u + r \frac{t_1}{2} \right) \cos \delta + (v + ra) \sin \delta \\
 v_{c12} &= - \left(u + r \frac{t_1}{2} \right) \sin \delta + (v + ra) \cos \delta \\
 u_{c21} &= u - r \frac{t_2}{2} \\
 v_{c21} &= v - rb \\
 u_{c22} &= u + r \frac{t_2}{2} \\
 v_{c22} &= v - rb
 \end{aligned}
 \tag{3.22}$$

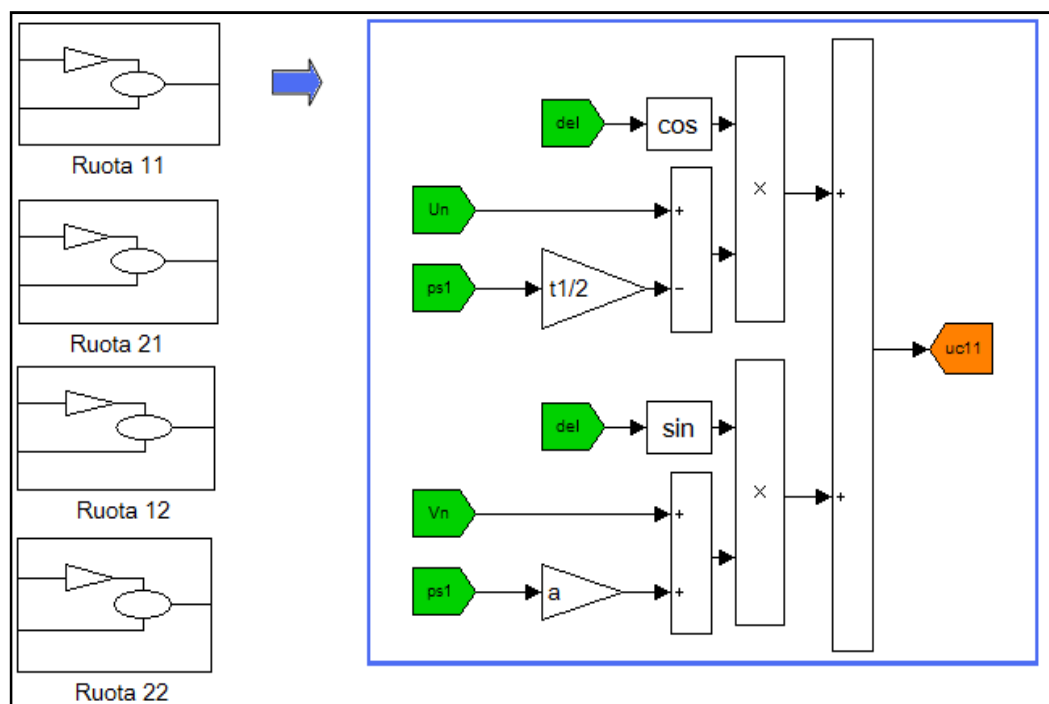


Figura 3.56: Velocità centro ruota longitudinale (Ruota11).

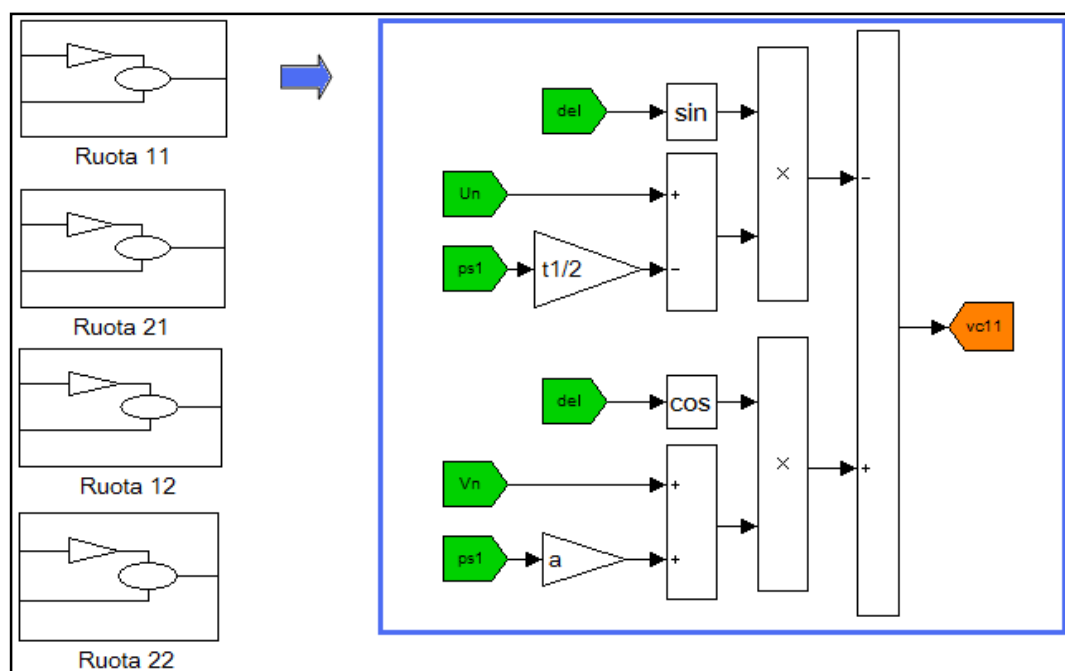


Figura 3.57: Velocità centro ruota laterale (Ruota11).

3.2.7.3 Modello di Pneumatico

$$F_{t_{ij}} = D_{ij} \sin \left[C \arctan \left(B_{ij} s_{tot_{ij}} \right) \right] \quad (3.23)$$

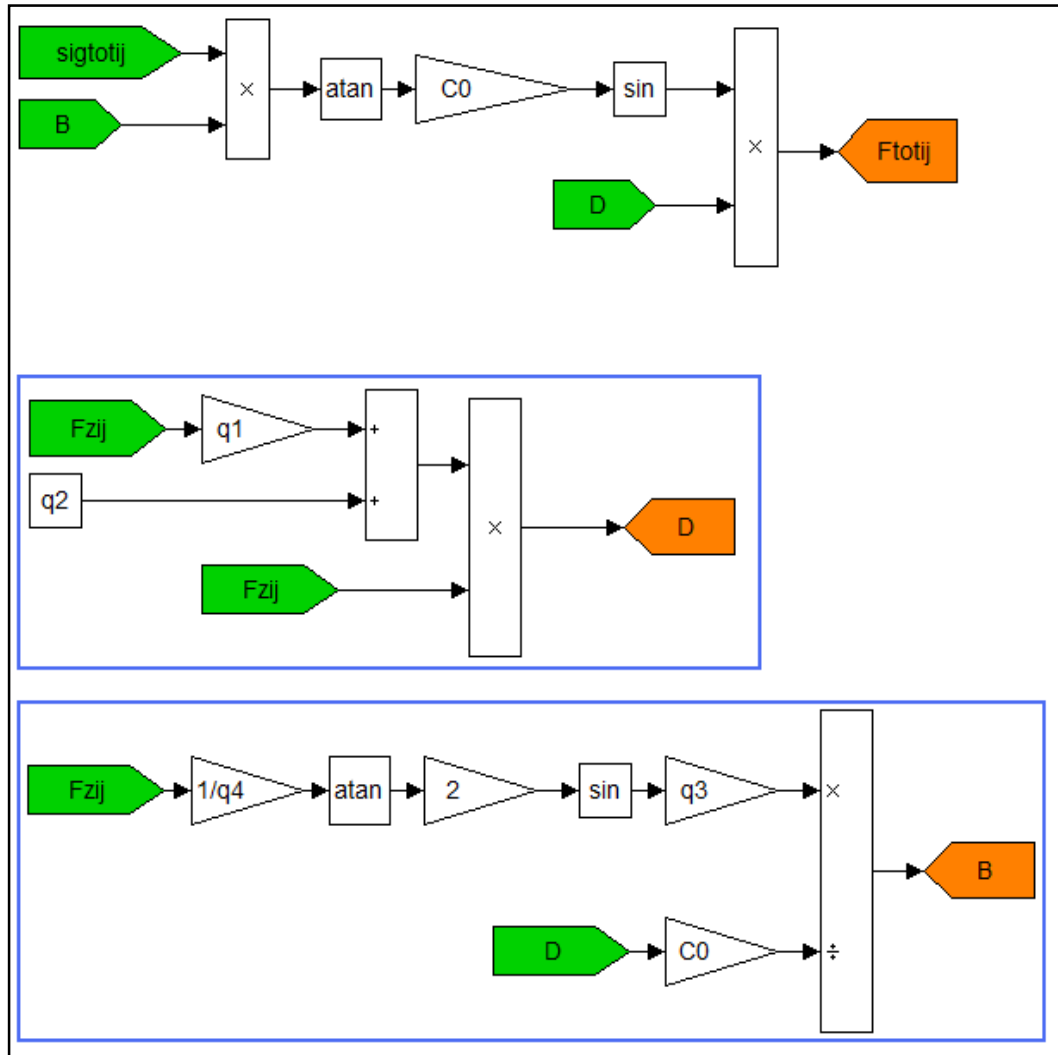


Figura 3.58: Blocco “Modello Pneumatico”.

3.2.7.4 Forza ruota-terreno

$$F_{x_{ij}} = -\frac{S_{x_{ij}}}{S_{tot_{ij}}} F_{t_{ij}} \quad (3.24)$$
$$F_{y_{ij}} = -\frac{S_{y_{ij}}}{S_{tot_{ij}}} F_{t_{ij}}$$

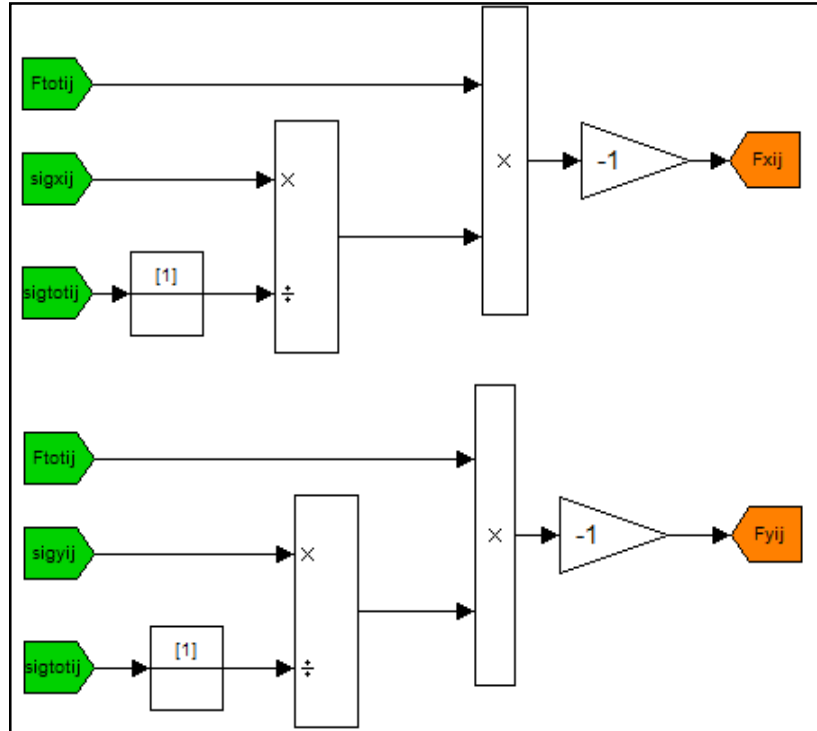


Figura 3.59: Forza ruota-terreno longitudinale e trasversale.

3.2.8 Blocco “Modello di Motore”

3.2.8.1 Blocco “Motore”

Il blocco “Motore” fornisce come uscita la coppia erogata note la posizione dell'acceleratore e la velocità angolare del motore. Elemento principale di questo blocco è una curva di coppia in funzione del numero di giri del motore implementata mediante un lookup table (21).

Il segnale del carico, compreso tra zero (carico nullo) e uno (carico massimo), proveniente dal potenziometro sul pedale dell'acceleratore, determina la coppia disponibile come una frazione della coppia massima a quel numero di giri.

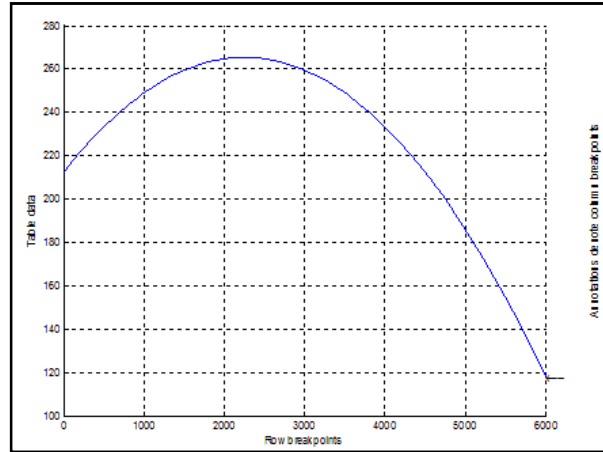


Figura 3.60: Coppia motore.

Per la creazione del look up table coppia motore sono necessari tre vettori:

- Vettore velocità angolare (ascisse): è un vettore composto da 101 elementi ugualmente distanziati tra loro che indicano la velocità angolare in giri al minuto, compresi tra un numero infinitamente piccolo maggiore di zero e la velocità massima del motore (parametro che può essere settato dalla maschera del blocco motore).
- Vettore potenza: è un vettore della stessa lunghezza del precedente i cui elementi indicano la potenza del motore al relativo numero di giri. La relazione, tra potenza massima a quel numero di giri, e il numero di giri, che permette di costruire questo vettore è:

$$P = P_{\max} \left(-\frac{n^3}{n_{P_{\max}}^3} + \frac{n^2}{n_{P_{\max}}^2} + \frac{n}{n_{P_{\max}}} \right) \quad (3.25)$$

dove

n = numero di giri

$n_{P_{\max}}$ = numero di giri a potenza max

P_{\max} = potenza max

Questa cubica approssima bene una curva di potenza del motore e si può verificare che ha un massimo in n_{Pmax} che vale proprio P_{max} . Tramite questa relazione si possono costruire diverse curve di potenza del motore, andando a variare il numero di giri a potenza max e la potenza max.

- Vettore coppia: è un vettore della stessa lunghezza del vettore potenza. I valori di questi elementi rappresentano la coppia massima esprimibile dal motore ad un determinato numero di giri.

La relazione che lega il vettore velocità angolare a questo è la seguente:

$$C = \frac{60}{2\pi} \frac{P}{n} \quad (3.26)$$

Come si può vedere il rapporto P/n è moltiplicato per $60/2\pi$ per esprimere la coppia in Nm, dato n che è espresso in giri/min.

Un sottosistema interno a quello motore fornisce in uscita la velocità angolare del motore in giri al minuto conoscendo le velocità angolari delle ruote e il rapporto di trasmissione totale tra motore e ruote. Le equazioni alla base di questo blocco sono:

$$\omega_m = \tau_c \omega_c \quad (3.27)$$

$$\omega_c = \tau_p \omega_r \quad (3.28)$$

da cui

$$\omega_m = \omega_r \tau_c \tau_p = \omega_r \tau_{tot} \quad (3.29)$$

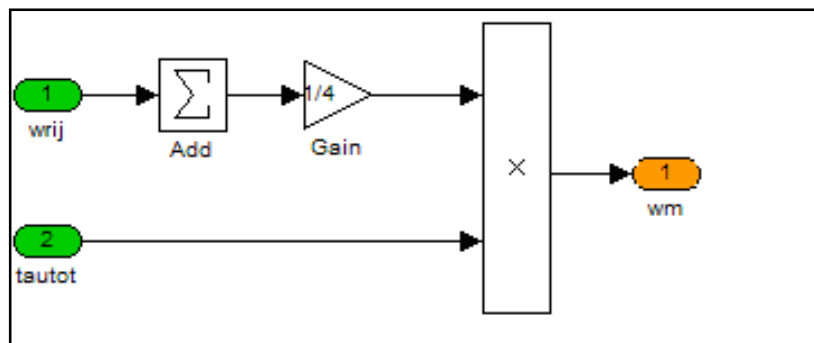


Figura 3.61: Blocco “Velocità angolare motore”.

La grandezza ω_m è ricavata come media delle velocità angolari delle ruote. Va sottolineato che la velocità angolare ω_m così trovata è espressa in rad/s, andrà quindi convertita in rpm prima di entrare nella lookup table.

La coppia da inviare al blocco differenziale, che la ripartisce poi alle ruote motrici, è a questo punto determinata.

Per migliorare le sensazioni di guida, si è pensato di introdurre quello che in gergo automobilistico è definito “freno motore”: una coppia resistente, di formulazione empirica, funzione della cilindrata del motore. Essa viene inviata alle ruote con segno negativo quando il segnale del potenziometro dell’acceleratore è inferiore ad una certa soglia prossima allo 0.

La formula empirica (27) utilizzata è:

$$C_r = 0.97 + \frac{0.15}{1000} \cdot \omega_m + \frac{0.05}{1000^2} \cdot \frac{9.81}{4\pi \cdot 100} \cdot V_p \cdot \omega_m^2 \quad (3.30)$$

dove V_p rappresenta la cilindrata del motore.

L’equazione 3.30 riportata in Simulink è rappresentata in Figura 3.62.

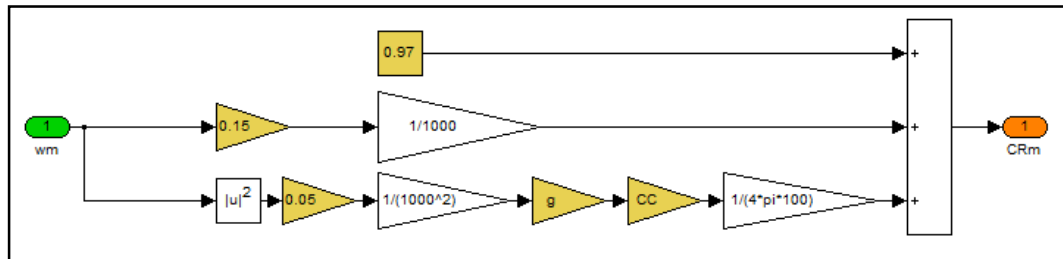


Figura 3.62: Blocco “Coppia Resistente”.

Il blocco motore finora descritto è quello riportato in Figura 3.63, dove si può notare la presenza di un switch che moltiplica per 1 o 0 la coppia resistente in relazione al valore del segnale dell’acceleratore come già sottolineato in precedenza. Si ricorda ancora che le velocità angolari sono definite in rad/s mentre per il calcolo della coppia motrice e della coppia resistente sono necessari i giri/min per questo prima di entrare in questi blocchi è necessario convertire le unità di misura.

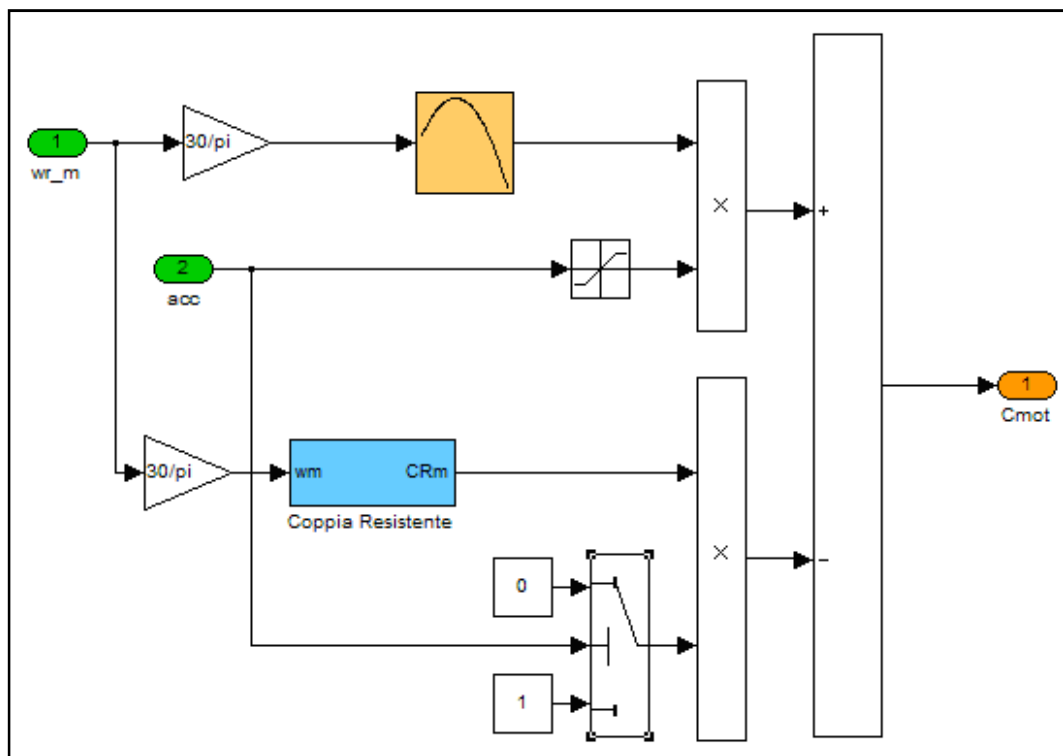


Figura 3.63: Blocco “Motore”.

3.2.8.2 Blocco “Frizione”

La frizione è un organo meccanico capace di collegare e scollegare il motore dalla scatola del cambio, permettendo la partenza della veicolo e l'inserimento delle marce, funziona per mezzo dell'attrito fra due parti che la compongono, la parte conduttrice e la parte condotta o trascinata: la prima è direttamente collegata all'albero motore, mentre la seconda all'albero primario del cambio. La rotazione dell'albero motore, si trasmette all'albero del cambio grazie all'aderenza che viene creata fra i dischi della frizione. La capacità di trasmettere la coppia motrice fra due dischi dipende dalla superficie di contatto, dal coefficiente d'attrito e dalla forza che li spinge l'uno contro l'altro.

Nel modello del simulatore si è deciso di inserire un sistema che rappresenti una frizione utile alla partenza. Il blocco motore come presentato in Figura 3.63 non permetteva di ottenere un buon feedback sonoro che, basandosi sugli rpm, era assente a veicolo fermo poiché, per quanto visto nel blocco in cui si calcola la velocità angolare del motore, i giri motore a veicolo fermo sono nulli.

Si è deciso di introdurre un dispositivo semplice, quale può essere una frizione centrifuga, per ovviare al problema precedentemente esposto, anche se l'uso di questo tipo di frizione nei veicoli a 4 ruote è ausiliario a frizioni dedicate ai cambi marcia.

Uno schema semplificato del dispositivo centrifugo è riportato in Figura 3.64:

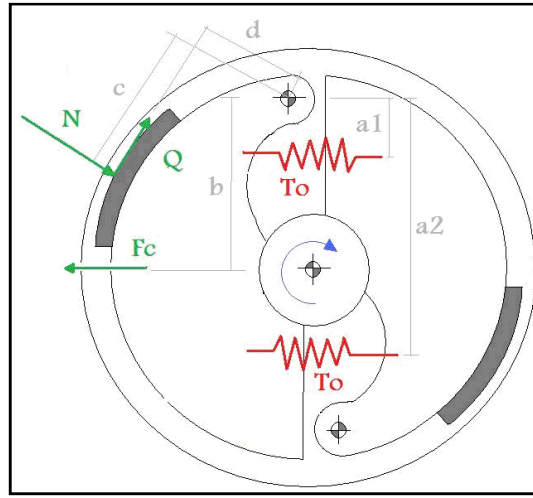


Figura 3.64: Schema frizione centrifuga.

Per ricavare la curva di coppia in funzione del numero di giri si deve risolvere il seguente sistema:

$$\begin{cases} N \cdot c + Q_1 \cdot d - F_c \cdot b + T_0 (a_1 + a_2) = 0 \\ N \cdot c - Q_2 \cdot d - F_c \cdot b + T_0 (a_1 + a_2) = 0 \\ Q_{1,2} = f \cdot N \\ F_c = m r_o \omega^2 \\ C_{\max} = R(Q_1 + Q_2) \end{cases} \quad (3.31)$$

Da cui si ricava che:

$$C_{\max} = \left(\frac{2R}{\frac{c}{f} \left[1 - \left(\frac{df}{c} \right)^2 \right] } \right) \left[m r_o b \omega^2 - T_0 (a_1 + a_2) \right] \quad (3.32)$$

La curva cercata avrà l'andamento riportato in Figura 3.65:

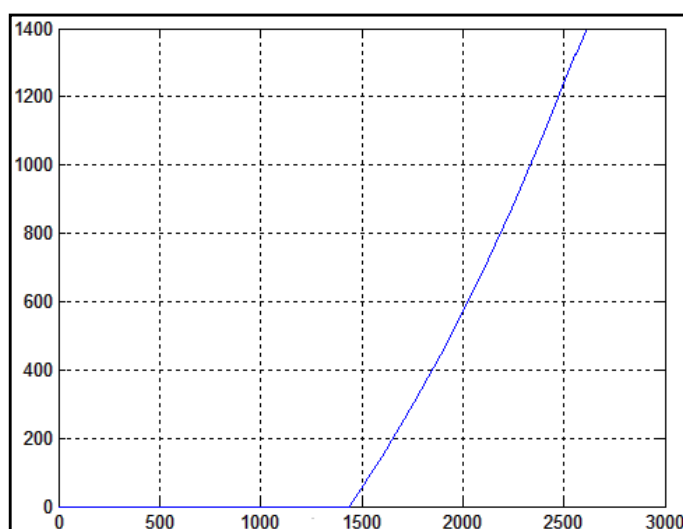


Figura 3.65: Coppia frizione.

Tutto quanto descritto è stato riportato in ambiente Simulink come mostrato in Figura 3.66.

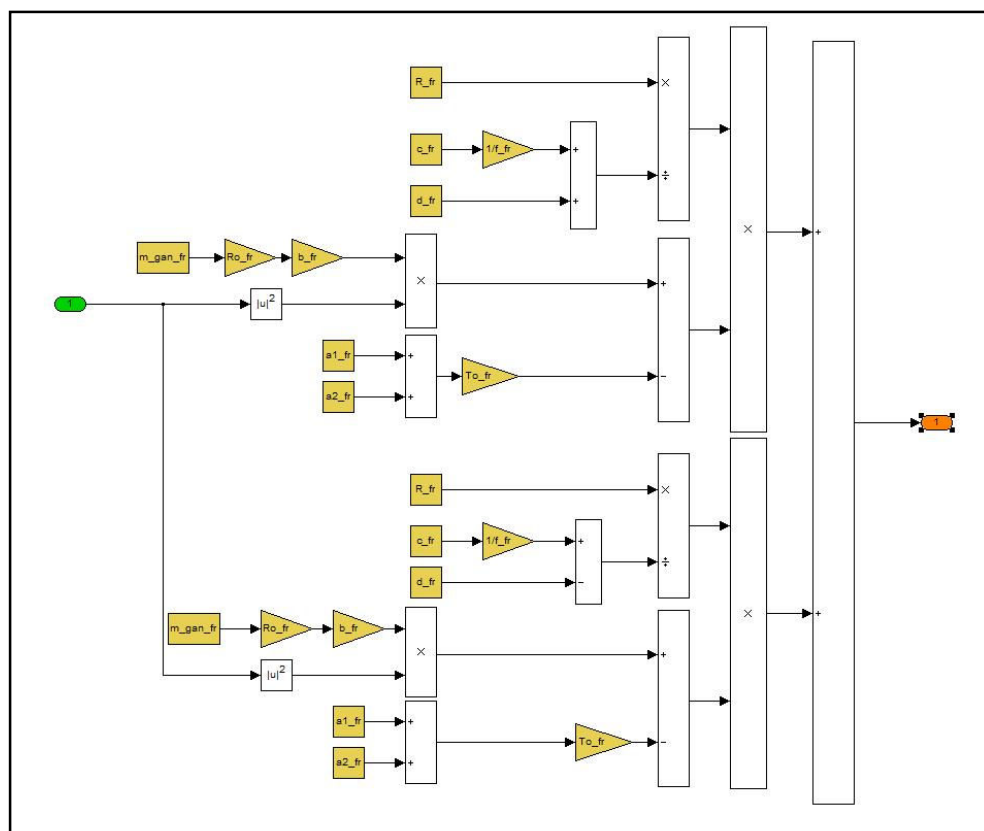


Figura 3.66: Blocco Frizione.

3.2.8.3 Logica di controllo

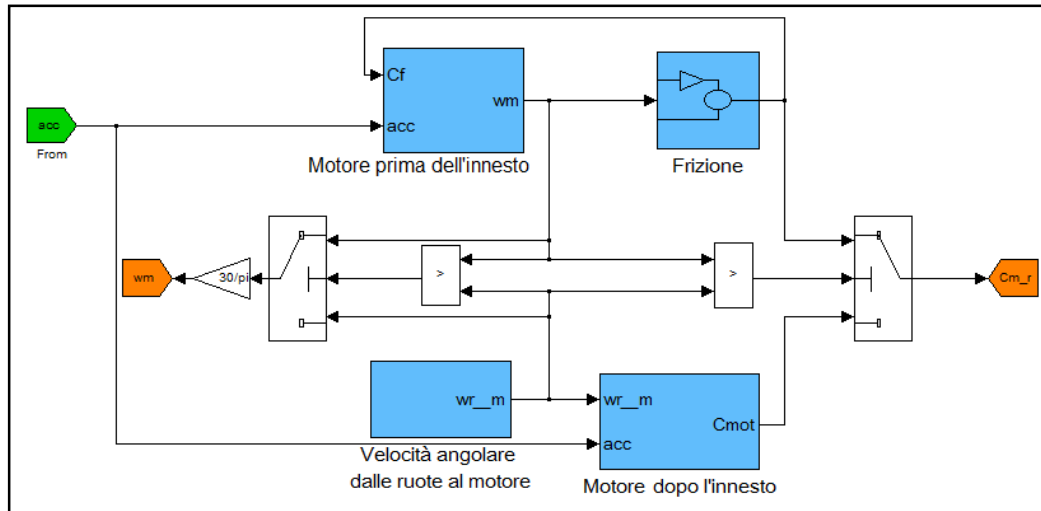


Figura 3.67: Blocco “Modello di Motore”.

All'interno del blocco “Modello di Motore” si ha la configurazione riportata in Figura 3.67. I blocchi blu sono gli elementi già descritti ad eccezione del blocco “motore prima dell'innesto”. Per introdurre la frizione nel modello è stato necessario prevedere il funzionamento del motore quando la coppia da esso generata non si propaghi sino alle ruote, in parole povere nel blocco viene presa in considerazione la condizione di folle che consente di portare la velocità angolare del motore a valori tali da consentire l'innesto della frizione. L'equazione implementata (Figura 3.68) è:

$$J_m \dot{\omega}_m = C_m - C_r - C_{friz} \quad (3.33)$$

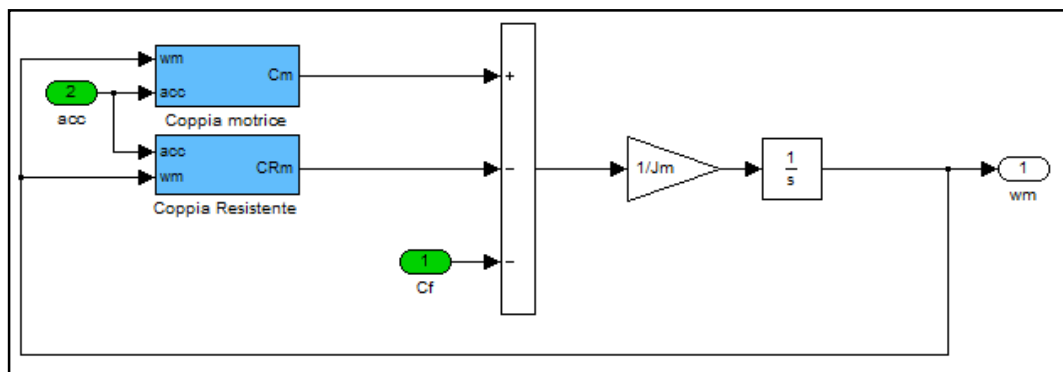


Figura 3.68: Blocco “Motore prima dell'innesto”.

Da questo blocco si ottiene la velocità di rotazione del motore che utilizzata come ingresso nel blocco frizione consente di avere la coppia da trasmettere alle ruote durante il transitorio di innesto.

Questo sistema si bypassa quando la velocità angolare delle ruote, passando attraverso tutti i rapporti di trasmissioni, uguaglia quella del motore in folle passando al modello di motore “standard” descritto nel paragrafo 3.2.8.1.

Come si vede a sinistra nella Figura 3.68, nel blocco è presente anche la logica con cui viene inviato il numero di giri al minuto al PC che si occupa della riproduzione del suono del motore del veicolo.

Tutto questo consente di avvertire l’inizio della simulazione attraverso la percezione sonora del regime di minimo del veicolo, nonché di ottenere in caso di manovre di arresto e ripartenza del veicolo un ritorno che possa far intendere che il simulatore è comunque in funzione.

3.2.9 Blocco “Traiettoria”

La velocità di avanzamento u_n e la velocità laterale v_n utilizzate abitualmente nella dinamica degli autoveicoli non sono esprimibili come derivate temporali di vere coordinate.

Per ottenere la posizione del baricentro del veicolo è necessario risolvere le equazioni:

$$\begin{aligned}x_0^G(t) - x_0^G(0) &= \int_0^t [u(t) \cos \varphi(t) - v(t) \sin \varphi(t)] dt \\ y_0^G(t) - y_0^G(0) &= \int_0^t [u(t) \sin \varphi(t) + v(t) \cos \varphi(t)] dt\end{aligned}\tag{3.34}$$

dove φ è l’angolo di imbardata.

La presenza nel modello di un blocco che si occupi del calcolo delle coordinate del veicolo in un sistema di riferimento fisso è giustificato dal fatto che la postazione grafica necessita di questi valori per poter posizionare il veicolo nell’ambiente virtuale.

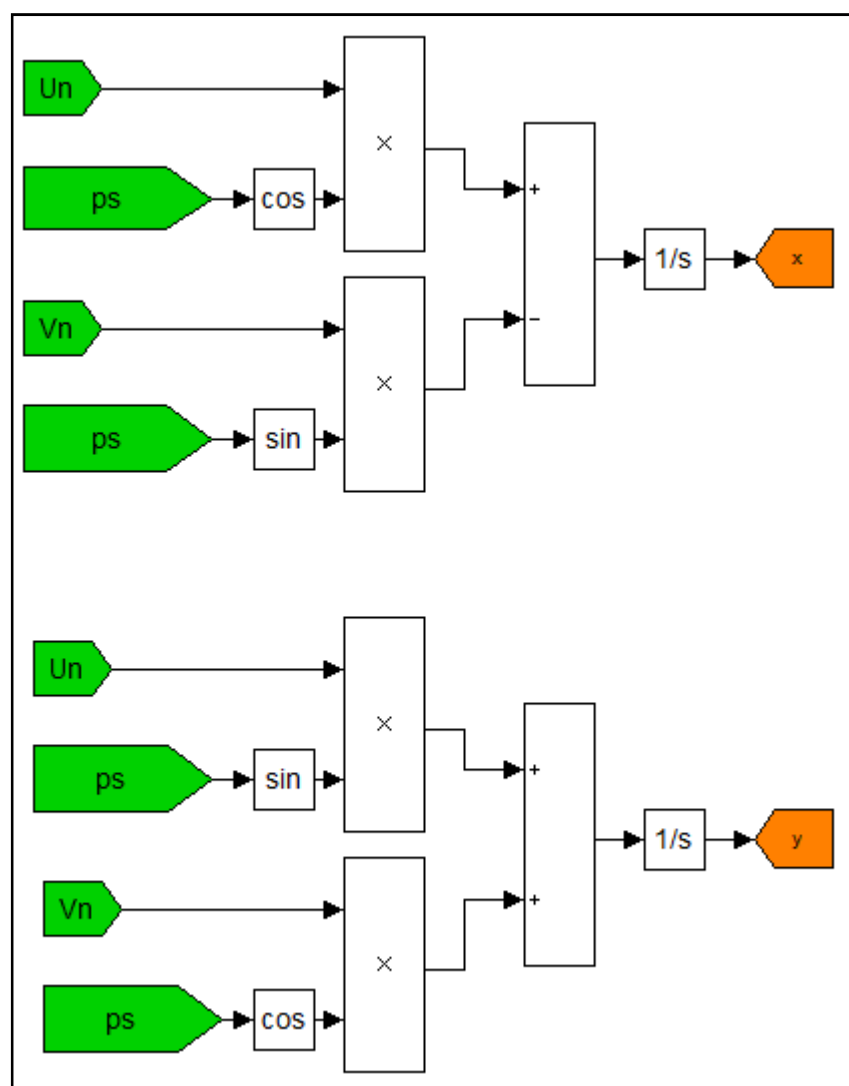


Figura 3.69: Blocco "Traiettoria".

3.3 Salvataggio dati

Come già detto, lo sviluppo di un simulatore ex-novo è giustificato anche dal poter manipolare le variabili di ingresso e/o uscita che una prova di guida può richiedere e/o generare.

Registrare i dati di una prova è un elemento fondamentale per ogni ricerca, in quanto permette di monitorarli e elaborarli in sede separata da quella di esecuzione delle prove stesse con la possibilità di generare una banca dati per confrontare le acquisizioni provenienti da diversi individui e coglierne le differenze. Avere la possibilità di scegliere quali variabili risultino essere più significative diventa così un elemento da non sottovalutare in sede di sviluppo.

In queste pagine si vedrà come è stato sviluppato il sistema di acquisizione dati e quali caratteristiche gli si richiedevano per un gestione dei parametri ottimale e intuitiva.

3.3.1 Requisiti del software

Le specifiche che lo sviluppo del software doveva seguire sono state elaborate in relazione ad un suo utilizzo plurivalente. In altre parole non si richiedeva un “ricettore” di dati puro e semplice adatto unicamente alle richieste derivanti dal progetto europeo sulla sicurezza stradale, ma l’intento era di ottenere un software idoneo ai diversi studi a cui un simulatore può prestarsi.

Riassumendo, le richieste principali di progetto consistevano in:

- leggerezza dei pacchetti dati;
- campionamento a frequenza variabile;
- ricezione da più PC.

La prima specifica è indispensabile per facilitare lo scambio dei dati tra i vari utenti interessati allo studio e per una semplice archiviazione, anche in ottica di elaborazione di una banca dati, che possa contenere un numero di acquisizioni elevato senza dover far richiesta ad archivi speciali ad elevate capacità.

Il secondo punto riguardante l'uso di campionamenti a frequenza variabile è giustificato dal poter ottenere un dettaglio di informazioni più accurato in particolari condizioni, che, per quel che riguarda il progetto europeo, può consistere nel manifestarsi dei sintomi del colpo di sonno. Questo aspetto è legato anche al primo punto, infatti, poter campionare più “grossolanamente” in condizioni ordinarie vuol dire anche avere un rapporto $(Mb)/(T_s)$ più basso con ovvi benefici sulla dimensione totale del file di salvataggio.

Per quanto riguarda la necessità di dover ricevere i dati da computer differenti, annoverata al terzo punto, è dovuta all'esigenza di poter gestire con un unico applicativo i parametri provenienti dal computer principale, Target Pc, e da uno secondario, che nello specifico risulta essere quello dedicato all'elaborazione grafica.

Per rendere il sistema intuitivo e di semplice utilizzo si è creata, sfruttando le potenzialità di Matlab\Simulink, un'interfaccia grafica in cui i settaggi di acquisizione sono facilmente variabili.

3.3.2 I Segnali

Il Receiver è un software, come detto, sviluppato in ambiente Matlab\Simulink capace di ricevere un insieme di segnali inviati sia dal Target Pc che dal Traffic Generator Pc.

I dati si trasmettono utilizzando il protocollo UDP per i motivi già elencati nel paragrafo 3.1 ed essi hanno una struttura bene determinata.

I dati provenienti dal Target Pc sono riassunti in Tabella 3.3 (in giallo i segnali provenienti dal pilota) e esplicitati con l'ausilio della Figura 3.70.

Tabella 3.3: Dati inviati dal Target Pc all'Host Pc

Dati Inviati dal TARGET PC				
N° ID	Nome	Unità di misura	Descrizione	Note
1	Real Time	s	Tempo simulazione	
2	x	m	Posizione assoluta rispetto ad un riferimento fisso la cui origine si trova nel punto in cui il veicolo si trova all'inizio della simulazione	
3	y	m	Posizione assoluta rispetto ad un riferimento fisso la cui origine si trova nel punto in cui il veicolo si trova all'inizio della simulazione	
4	z	m	Posizione assoluta rispetto ad un riferimento fisso la cui origine si trova nel punto in cui il veicolo si trova all'inizio della simulazione	
5	Un	m/s	Velocità longitudinale del punto H	
6	Vn	m/s	Velocità laterale del punto H	
7	Z1	m/s	Velocità di scuotimento	Derivata di Z
8	ax	m/s ²	Accelerazione longitudinale del punto H	
9	ay	m/s ²	Accelerazione laterale del punto H	
10	Z2	m/s ²	Accelerazione di scuotimento	Derivata di Z1
11	ps	rad	Imbardata	
12	ph	rad	Rollio	
13	th	rad	Beccheggio	
14	ps1	rad/s	Velocità di imbaradata	
15	ph1	rad/s	Velocità di rollio	
16	th1	rad/s	Velocità di beccheggio	
17	ps2	rad/s ²	Accelerazione di imbaradata	
18	ph2	rad/s ²	Accelerazione di rollio	
19	th2	rad/s ²	Accelerazione di beccheggio	
20	acc	%	Posizione pedale acceleratore	Il segnale va da 0 a 1 e rappresenta la posizione del pedale(0=pedale in posizione di riposo, 1=pedale a fondo corsa)
21	fre	%	Posizione pedale freno	Il segnale va da 0 a 1 e rappresenta la posizione del pedale(0=pedale in posizione di riposo, 1=pedale a fondo corsa)
22	Xpc_ang_ster	gradi	Posizione sterzo	Il segnale è ricevuto dalla scheda can
23	Coppia_Can	Nm	Coppia al volante	Il segnale, ottenuto dalla ECU del EPS, viene acquisito dalla scheda can
24	Coppia_St	Nm	Coppia sul piantone a valle del servosterzo	questo non è un segnale acquisito, bensì è calcolato dal modello

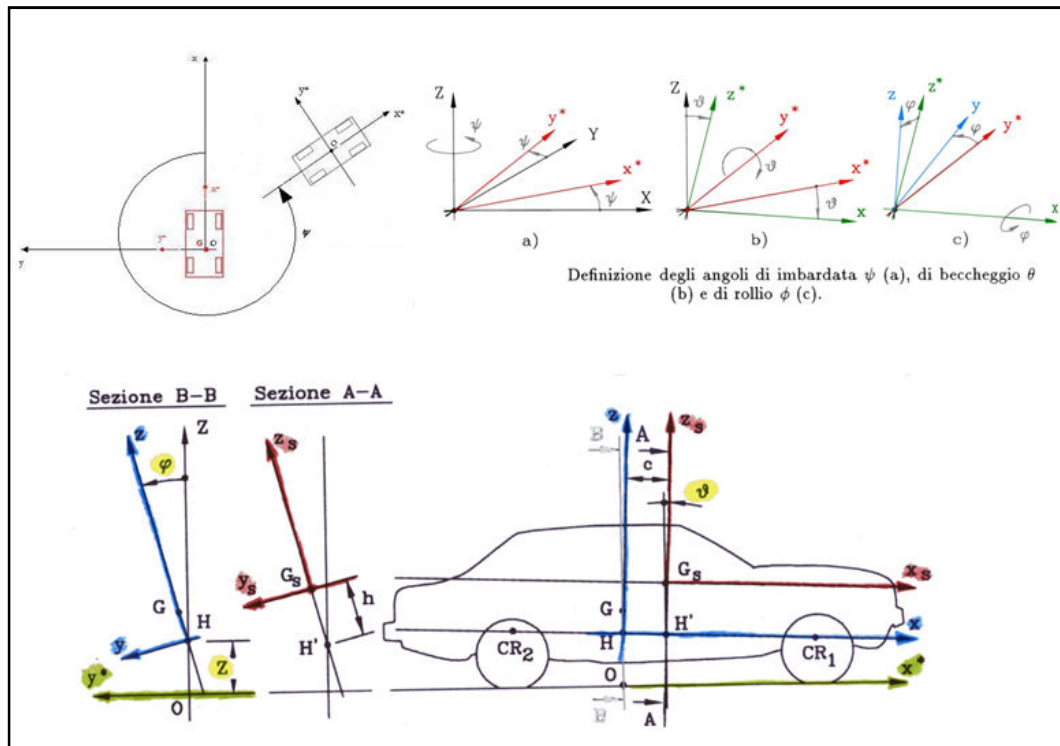


Figura 3.70: Sistemi di riferimento e angoli caratteristici.

È necessario, comunque, fare alcune precisazioni:

- per quel che riguarda le accelerazioni longitudinali e laterali esse non sono le derivate u_n e di v_n , ma si ha:

$$\overline{a_H} = \frac{d\overline{V_H}}{dt} = \dot{u}\bar{i} + \dot{v}\bar{j} + u\frac{d\bar{i}}{dt} + v\frac{d\bar{j}}{dt} = (\dot{u} - vr)\bar{i} + (\dot{v} + ur)\bar{j} = a_x\bar{i} + a_y\bar{j}$$

- Per quel che riguarda il segnale denominato “Coppia_CAN”, esso rappresenta la coppia che il pilota fa al volante.
- L’ultimo parametro nell’elenco è stato introdotto per misurare le coppie che ci sono a valle del servosterzo utile per ottenere informazioni circa l’entità delle forze che l’attuatore dovrà fornire quando ci si svincolerà dal sistema di retroazione a molle lineari.

Dal Traffic Generator PC si riceve un solo parametro (in realtà si riceve anche un segnale di tempo ma esso è lo stesso presente nei dati proveniente dal Target PC) denominato DLM, distanza dalla linea media, utile a evidenziare l’influenza delle correzioni dello sterzo in funzione della posizione del veicolo.

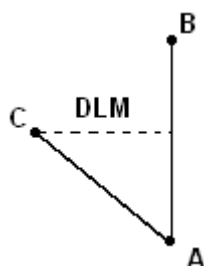


Figura 3.71: I Road Point.

In Figura 3.71 è visibile come, in realtà, la DLM sia riferita alla linea di mezzzeria della corsia per cui si hanno due riferimenti per ogni carreggiata.

La logica seguita per definire la DLM, implementata direttamente nel software grafico, è:

- Identificazione del Road Point più vicino al veicolo
- Rilevo Road Point precedente (A) e successivo (B)
- Definire l'angolo (Θ) tra la posizione del veicolo(C) e il vettore AB:



$$DLM = \sin(\Theta) \cdot \|AC\|$$

3.3.3 Il Receiver:

3.3.3.1 Schermata principale

L'architettura del Receiver è fatta in modo che l'utente utilizzatore, per il lancio di una simulazione, debba interagire con la schermata presente in Figura 3.72.

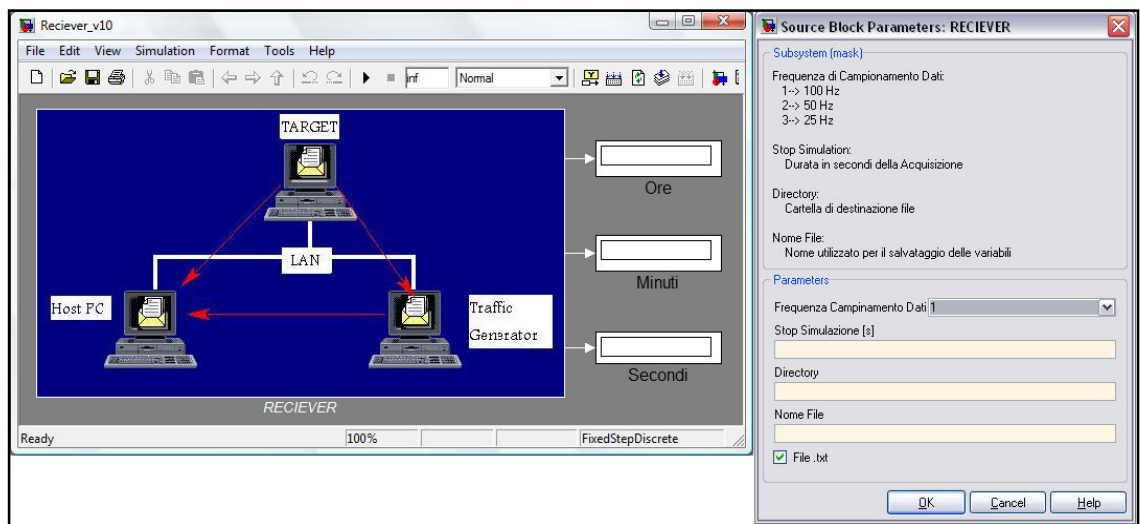


Figura 3.72: Schermata principale del Receiver.

Come si può vedere attraverso il “Source Block Parameters” è possibile settare:

- La frequenza di campionamento attraverso un menù a tendina in cui selezionando 1 si ha un campionamento a 100Hz, con 2 a 50Hz e 3 a 25Hz.
- Nella casella relativa allo “Stop Simulazione” va inserita la durata in secondi dell’acquisizione.
- la “Directory”: permette di creare uno spazio nell’Hard Disk in cui posizionare i file creati durante una prova.
- “Nome File”: è il nome con cui identificare la prova.
- Attraverso una checkbox, posizionata in basso, è possibile richiedere al programma di salvare i dati oltre che in formato .mat anche nel formato .txt, utile qualora tali risultati debbano essere processati con un applicativo differente da Matlab.

Una volta settati questi parametri l'acquisizione è pronta ad essere lanciata e questo viene fatto attraverso il tasto “play” presente nella schermata di Simulink e riportata a sinistra in Figura 3.72.

In questa schermata è anche possibile ottenere informazioni circa la durata dell'acquisizione attraverso un conteggio online del tempo trascorso, utile quando nel “Source Block Parameters” si setta come tempo di fine simulazione “*inf*”, ciò vuol dire che la simulazione dovrà essere fermata manualmente.

Inoltre questo contatore fornisce anche indicazioni circa lo stato del Receiver, infatti, è stato pensato, come vedremo più avanti, in modo da funzionare solo se il Target Pc e l'Host Pc sono nelle condizioni di comunicare. Un indicatore fermo può significare due situazioni:

- Receiver in Stop.
- Problemi di comunicazione tra i PC.

3.3.3.2 I Livello

Entrando nel primo livello, attraverso il comando “Look Under Mask”, è possibile visualizzare la configurazione riportata in Figura 3.73.

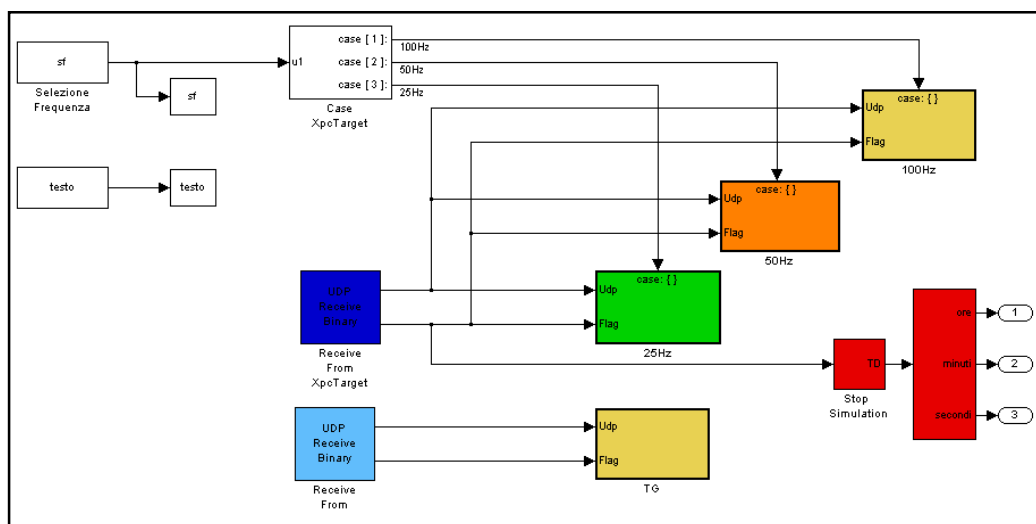


Figura 3.73: I Livello del Reciever.

Lo schema prevede due UDP Receiver configurati come in Figura 3.74 che permettono di acquisire i dati dal TARGET PC e dal TRAFFIC GENERATOR PC

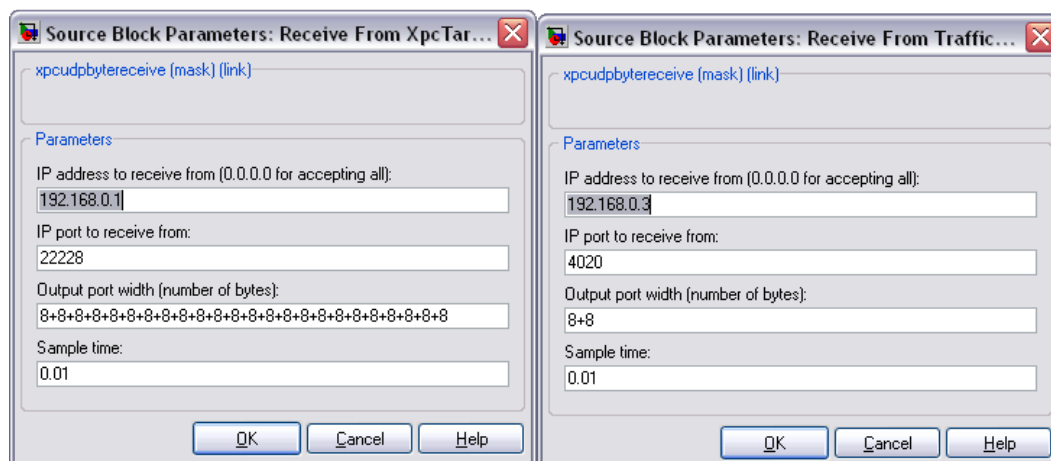


Figura 3.74: Configurazione UDP Receiver.

I dati ricevuti dal Target Pc vengono campionati alle frequenze di 25Hz, 50Hz e 100Hz, mentre per i dati provenienti dal Traffic Generator Pc si è ritenuto opportuno acquisirne la totalità inviata in quanto, essendo in relazione alla configurazione grafica, presentano una frequenza di aggiornamento inferiore ai 100Hz (circa 30Hz).

3.3.3.3 II Livello

La situazione presente nel blocco 100Hz dei dati provenienti dal Target PC è riportata in Figura 3.75.

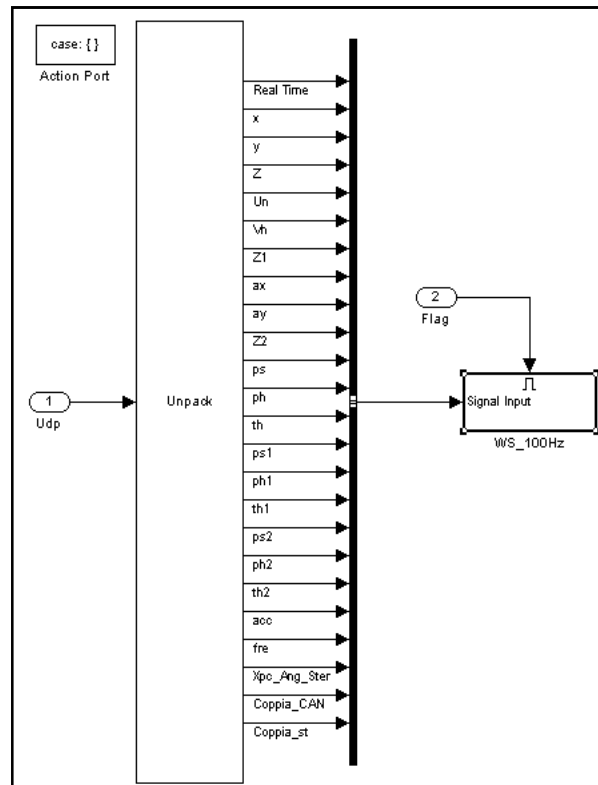


Figura 3.75: Blocco 100Hz.

Si sottolinea qui l'importanza del "Flag", questo è un segnale fornito direttamente dall'UDP Receiver e vale 1 se il dato ricevuto è "nuovo" altrimenti vale 0. L'importanza è legata al fatto che i segnali vengono immessi nel Workspace quando il valore del flag è 1 attivando il blocco "WS_100Hz". Se questo non fosse fatto la quantità di dati registrati sarebbe enorme di cui pochi significativi avendo uno stesso dato ripetuto anche migliaia di volte. Questo è dovuto al fatto che il Receiver gira ad una velocità notevolmente alta che permette di acquisire più volte un dato relativo allo stesso tempo di campionamento. Attraverso quindi il flag è stato possibile ottenere dei pacchetti dati leggeri e gestibili riducendo la dimensione dei file di salvataggio di due ordini di grandezza.

Il flag è stato utilizzato anche per ottenere il campionamento a diverse frequenze, come caso esplicativo viene riportato quello a 50Hz (Figura 3.76)

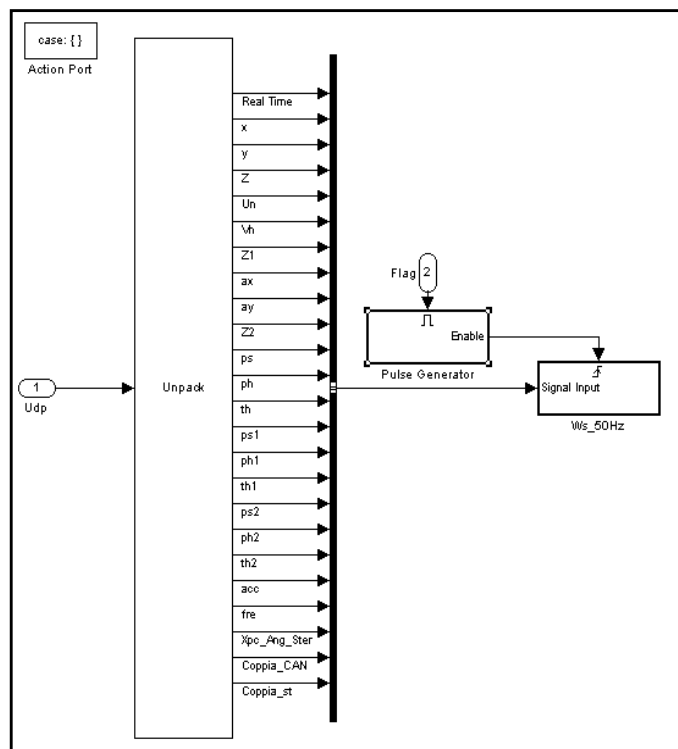


Figura 3.76: Blocco 50Hz.

Come si vede il flag non interviene per abilitare direttamente il salvataggio nel Workspace, ma viene utilizzato per generare segnale di onda quadra di frequenza 50Hz. In altre parole il flag invia un 1 ogni 0.01s, poiché l'invio dati dal modello ha quella frequenza, se si produce un segnale di durata 0.01s, periodo 0.02s e ampiezza -1, sommandolo al segnale del flag si produce il segnale a 50Hz in grado di comandare il “WS_50Hz”.

Lo stesso ragionamento può essere ripetuto per ottenere il campionamento a 25Hz dove però il segnale da produrre deve avere durata 0.03s e periodo 0.04.

Per quanto riguarda, invece, il Traffic Generator PC la configurazione è riportata in Figura 3.77 e risulta molto semplificata.

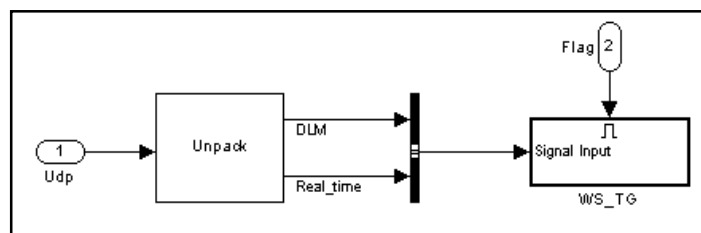


Figura 3.77: Ricezione DLM.

3.3.3.4 Il Contatore e lo Stop Simulation

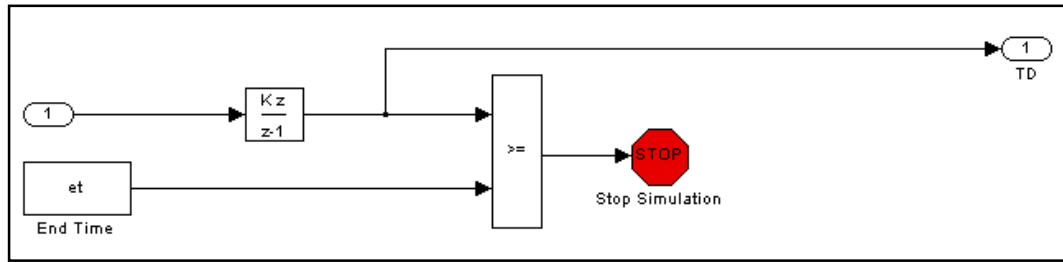


Figura 3.78: Stop Simulation.

L'ingresso 1 in Figura 3.78 è il Flag del Udp Receiver relativo ai dati del Target PC, attraverso il blocco posto in sequenza si contano il numero di 1 ottenendo il valore cumulativo che moltiplicato per 0.01 fornisce il tempo di simulazione, quando questo valore supera il valore introdotto nella maschera principale l'acquisizione si ferma.

Il conteggio dei flag viene utilizzato anche per visualizzare il tempo di acquisizione nella schermata principale, come mostrato in Figura 3.79, e basandosi sulla ricezione dei segnali si hanno i vantaggi descritti nel paragrafo 3.3.3.1.

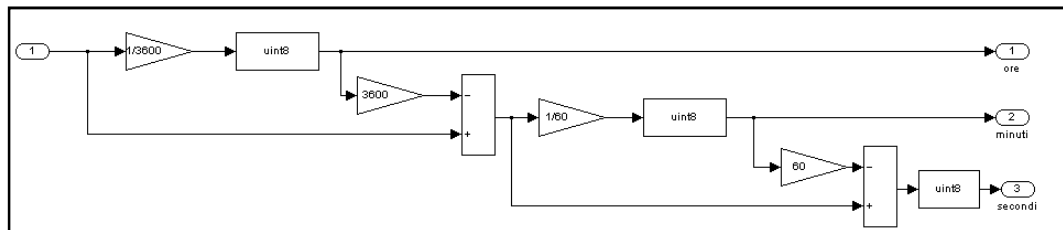


Figura 3.79: Contatore.

3.3.3.5 Procedura nel “Block Properties”

Ogni blocco “Subsystem” in Simulink offre l’opportunità di configurare una serie di azioni da attuare prima di una determinata fase della simulazione.

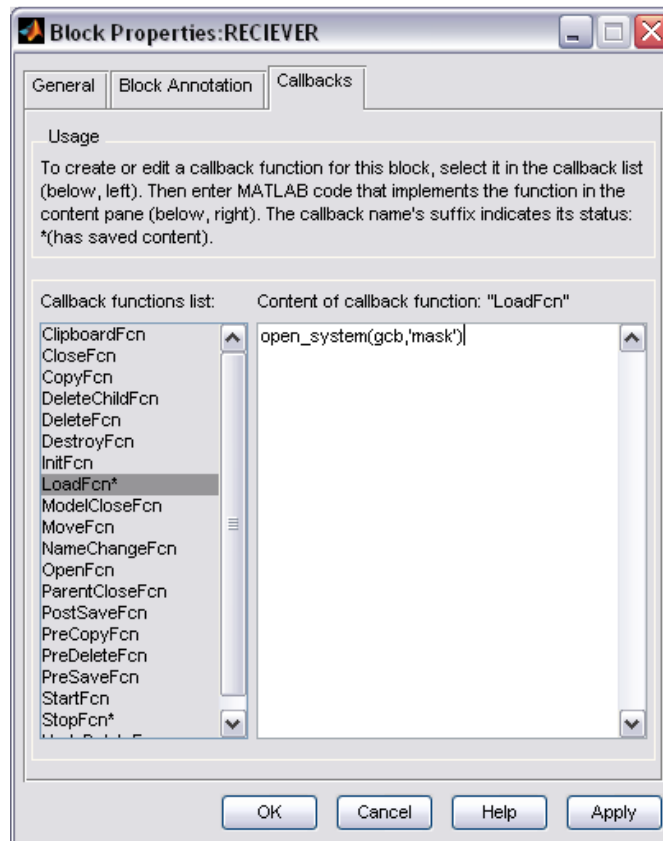


Figura 3.80: Block Properties.

Tramite questa potenzialità si è potuto ottenere l’apertura della maschera di configurazione dei parametri, riportata a destra nella Figura 3.72, al lancio del modello di Receiver inserendo il comando `open_system(gcf,'mask')` sotto la voce *LoadFcn*.

La procedura di salvataggio è stata invece inserita in *StopFcn* questo comporta che tutti i file verranno restituiti al workspace e salvati nel istante in cui il periodo di acquisizione viene terminato automaticamente o manualmente.

```

open_system(gcb,'mask')
% Procedura matrice dati unica
Dati_TG=SignalsTG;
if sf==1
Dati_tot=Signals_100Hz;
elseif sf==2
Dati_tot=Signals_50Hz;
else
Dati_tot=Signals_25Hz;
end
dim_Dati_tot=size(Dati_tot,2)+1;
for i=1:size(Dati_tot,1)
[minimo, loc]=min(abs(Dati_TG(:,2)-Dati_tot(i,1)));
Dati_tot(i,dim_Dati_tot)=Dati_TG(loc,1);
end
if sf==1
Dati_tot(:,1)=[0:0.01:size(Dati_tot,1)*0.01-0.01]';
elseif sf==2
Dati_tot(:,1)=[0:0.02:size(Dati_tot,1)*0.02-0.02]';
else
Dati_tot(:,1)=[0:0.04:size(Dati_tot,1)*0.04-0.04]';
end
% Procedura salvataggio
if sf==1
Dati_100Hz=Dati_tot;
save(get_param(gcb, 'NMF'),'Dati_100Hz')
elseif sf==2
Dati_50Hz=Dati_tot;
save(get_param(gcb, 'NMF'),'Dati_50Hz')
else
Dati_25Hz=Dati_tot;
save(get_param(gcb, 'NMF'),'Dati_25Hz')
end
if testo==1
dlmwrite([get_param(gcb, 'NMF'),'.txt'],Dati_tot, '\t')
end
clear i sf testo Dati_tot SignalsTG Signals_100Hz
        Signals_25Hz Signals_50Hz dim_Dati_tot

```

Figura 3.81: Procedura salvataggio.

Analizzando la procedura riportata in Figura 3.81 si riscontrano diverse sezioni: la prima stringa è il comando per ottenere la riapertura della maschera di configurazione ogni volta che si presenta uno “Stop Simulation”; la procedura di creazione di una matrice unica serve per riportare in un unico prospetto i dati provenienti dai diversi PC; l’ultima sezione, invece, riguarda il salvataggio vero e proprio con l’aggiunta di una stringa che serve ad eliminare dal workspace le variabili non più necessarie.

Bisogna fare una precisazione per quel che riguarda la creazione della matrice unica. Come detto il numero di dati provenienti dai due PC è diverso in quanto è diversa la frequenza con cui essi vengono inviati, però, ognuno è riferito

ad un tempo che per i due PC è identico essendo questo ottenuto con una scheda clockata presente nel Target PC. Sfruttando questi vettori di dati è possibile relazionare i dati dei PC e ottenere il risultato cercato, cioè, una matrice contenente l'intero insieme dei dati.

Per completezza la struttura della matrice è riportata in Tabella 3.4.

Tabella 3.4: Struttura Dati.

Dati Inviati all'HostPc			
N° ID	Nome	Unità di misura	Descrizione
1	Real Time	s	Tempo simulazione
2	x	m	Posizione assoluta rispetto ad un riferimento fisso la cui origine si trova nel punto in cui il veicolo si trova all'inizio della simulazione
3	y	m	Posizione assoluta rispetto ad un riferimento fisso la cui origine si trova nel punto in cui il veicolo si trova all'inizio della simulazione
4	z	m	Posizione assoluta rispetto ad un riferimento fisso la cui origine si trova nel punto in cui il veicolo si trova all'inizio della simulazione
5	Un	m/s	Velocità longitudinale del punto H
6	Vn	m/s	Velocità laterale del punto H
7	Z1	m/s	Velocità di scuotimento
8	ax	m/s ²	Accelerazione longitudinale del punto H
9	ay	m/s ²	Accelerazione laterale del punto H
10	Z2	m/s ²	Accelerazione di scuotimento
11	ps	rad	Imbardata
12	ph	rad	Rollio
13	th	rad	Beccheggio
14	ps1	rad/s	Velocità di imbaradata
15	ph1	rad/s	Velocità di rollio
16	th1	rad/s	Velocità di beccheggio
17	ps2	rad/s ²	Accelerazione di imbaradata
18	ph2	rad/s ²	Accelerazione di rollio
19	th2	rad/s ²	Accelerazione di beccheggio
20	acc	%	Posizione pedale acceleratore
21	fre	%	Posizione pedale freno
22	Xpc_ang_ster	gradi	Posizione sterzo
23	Coppia_Can	Nm	Coppia al volante
24	Coppia_St	Nm	Coppia sul piantone a valle del servosterzo
25	DLM	m	Distanza dalla linea media della corsia

4 SVOLGIMENTO PROVE PRELIMINARI

Raggiunta una configurazione del simulatore tale da poter essere utilizzato per le manovre standard di guida, il passo successivo è stato quello di testarlo con un numero di utenti significativo in modo da avere dati sufficienti sia per quel che riguarda il feeling di guida sia per analizzare e cogliere le differenze tra gli stili che caratterizzano i vari conducenti.

Per quanto riguarda il primo aspetto è stato utile poter sfruttare personale esperto in grado di cogliere le risposte del veicolo in funzione delle manovre effettuate fornendo anche indicazioni utili per i settaggi del veicolo.

In questo capitolo, però, verrà preso in considerazione il secondo aspetto, si descriveranno, cioè, le diverse manovre che un tester doveva svolgere in sede di prova e si mostreranno alcune curve che si ritengono salienti per evidenziare lo stile di guida.

È bene sottolineare che nel capitolo non si entrerà nel dettaglio dell'analisi dei segnali, oggetto di studio da parte di altri partners rientranti nel progetto europeo, ma si evidenzieranno, comunque, con una analisi semplicistica dei segnali le potenzialità della struttura "Pisa Simulator".

4.1 Protocollo di prova

Allo stato attuale la configurazione grafica del simulatore non consente di variare il tipo di percorso, disponendo solo della ambientazione autostradale.

Lo sviluppo delle prove, però, richiede che il tipo di azioni che un conducente dovrà svolgere siano riferite a molteplici situazioni. La mancanza di tratti urbani e extraurbani, perciò, dovrà essere colmata con delle manovre opportunamente elaborate per simulare tali ambientazione.

Lo scopo di tali acquisizioni sarà quello di cogliere le differenze tra gli stili di guida dei diversi individui. Questo rappresenta il primo passo prima di giungere ad analizzare la variazione dello stile di guida di un conducente in funzione dello stato di vigilanza cosa attuabile quando si disporrà di un volante sensorizzato, già in fase di sviluppo, e dell' insieme di apparecchiature mediche in grado di monitorare lo stato del pilota.

Il protocollo di prova sarà articolato nei punti seguenti:

- I. Fase di apprendimento della durata indicativa di 15 minuti avendo il solo scopo di introdurre il tester alla guida sul simulatore, i segnali generati in questa sessione non saranno registrati.
- II. Percorso simil-urbano consistente nell'esecuzione di: 10 manovre di accelerazione sino alla velocità di 50km/h con successivo completo arresto del veicolo; 10 manovre di partenza e dopo aver raggiunto la velocità di 40km/h effettuare un cambio corsia arrestando in seguito il veicolo.
- III. Percorso extraurbano consistente in 10 minuti di guida libera con velocità massima di 100km/h.
- IV. Percorso autostradale consistente in 10 minuti di guida libera con velocità massima di 150km/h.

4.2 Analisi dei dati

Come sottolineato nell'introduzione al capitolo l'analisi dei dati sarà svolta in maniera semplicistica cogliendo, per le varie manovre effettuate in fase di test, gli aspetti salienti dello stile di guida di un conducente.

Urbano 1: arresto ripartenza

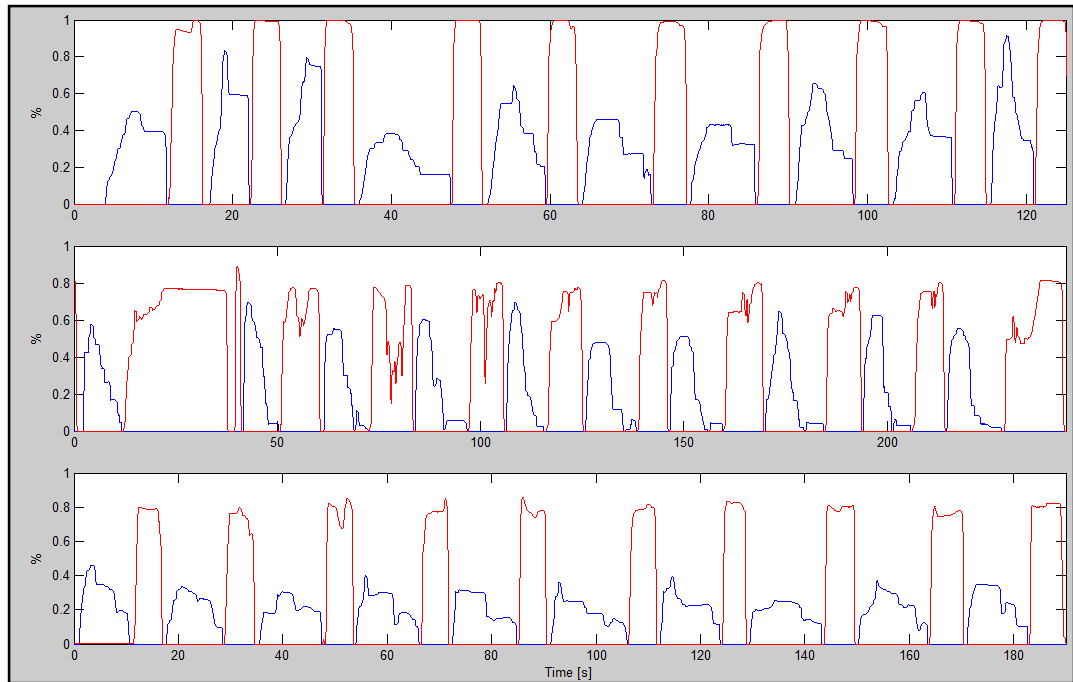


Figura 4.1: Posizione dell'acceleratore e del freno.

Nella Figura 4.1 sono riportati, in funzione del tempo, la posizione del pedale dell'acceleratore (in blu) e del pedale del freno (in rosso) ottenuti da tre diversi tester nella manovra di arresto e ripartenza semplice.

Dall'analisi complessiva di tutte e 10 le manovre è possibile evidenziare come nel susseguirsi delle manovre per ogni tester si ha una significativa similitudine nelle sue azioni sui pedali: ampiezza e modulazione dei pedali risultano, infatti, comparabili per ogni manovra.

A questo punto analizzare una singola fase per ogni pilota non è completamente errato per ottenere dati relativi allo stile di guida.

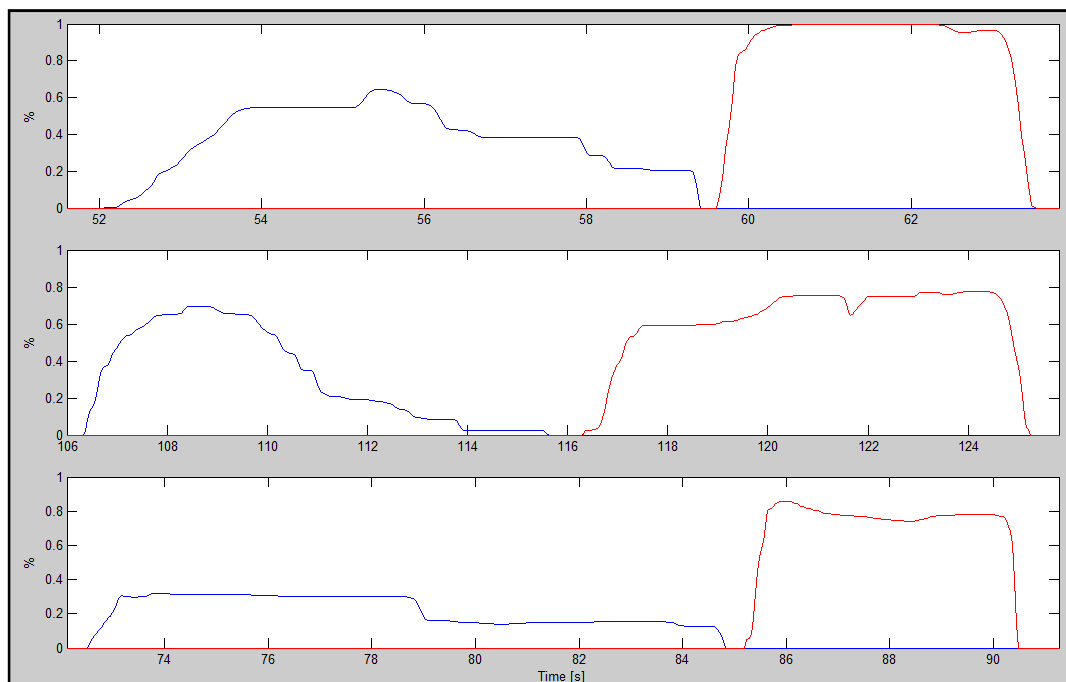


Figura 4.2: Accelerazione e arresto.

Analizzando la Figura 4.2 risaltano all'occhio due aspetti:

- L'entità dell'azione sul freno (rosso) è diversa per ogni pilota, è possibile, soprattutto, cogliere come il primo pilota tenda ad avere una azione decisa caratterizzata da ampiezza massima che ha come effetto un più rapido arresto del veicolo mentre il secondo pilota tende a modulare l'azione non giungendo, comunque, mai ad avere l'ampiezza massima (circa 80%).
- L'azione sul pedale dell'acceleratore (blu) è notevolmente differente, infatti, lo stile del terzo pilota potremmo definirlo “economico” rispetto a quello decisamente “sportivo” del secondo conducente. L'azione sul pedale del secondo conducente in fase di partenza porta ad avere un spostamento di circa il 70% della corsa massima del pedale, mentre il terzo pilota non raggiunge il 40%.

Urbano2: Cambio corsia

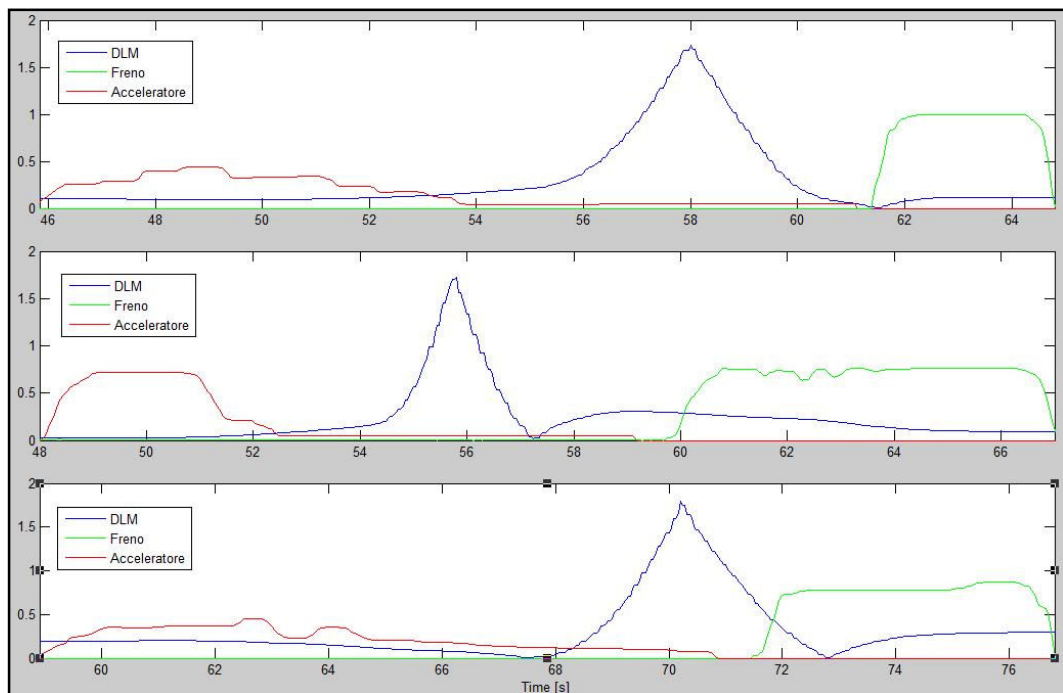


Figura 4.3: Manovra di cambio corsia.

Nella Figura 4.3 è riportata una manovra di cambio corsia analizzando la DLM (25° segnale nella matrice dati) per tre diversi piloti, in questa curva (blu) è possibile evidenziare facilmente il passaggio del veicolo da un corsia all'altra, infatti per quanto visto nella configurazione dei road-point la linea tratteggiata al centro della carreggiata rappresenta il massimo valore della DLM.

Per evidenziare effettivamente l'intero iter della manovra si è sovrapposta a questa curva quelle ottenute dai segnali dell'acceleratore e del freno ritenendo che, per come è stato definito il protocollo di prova, l'inizio della manovra coincida con l'inizio dell'azione sul pedale dell'acceleratore mentre la manovra termini all'arresto del veicolo.

Soprattutto analizzando il secondo e terzo grafico è possibile notare come il secondo pilota cominci a rallentare dopo aver raggiunto una condizione di stabilità nella corsia mentre il terzo conducente svolge l'azione frenante ancor prima di aver raggiunto il centro corsia.

Anche la velocità con cui si agisce sul volante mostra delle differenze per i vari piloti, infatti, analizzando la Figura 4.4 è possibile evidenziare visivamente

che l'ampiezza del cono risulta essere inferiore per il secondo pilota rispetto agli altri due.

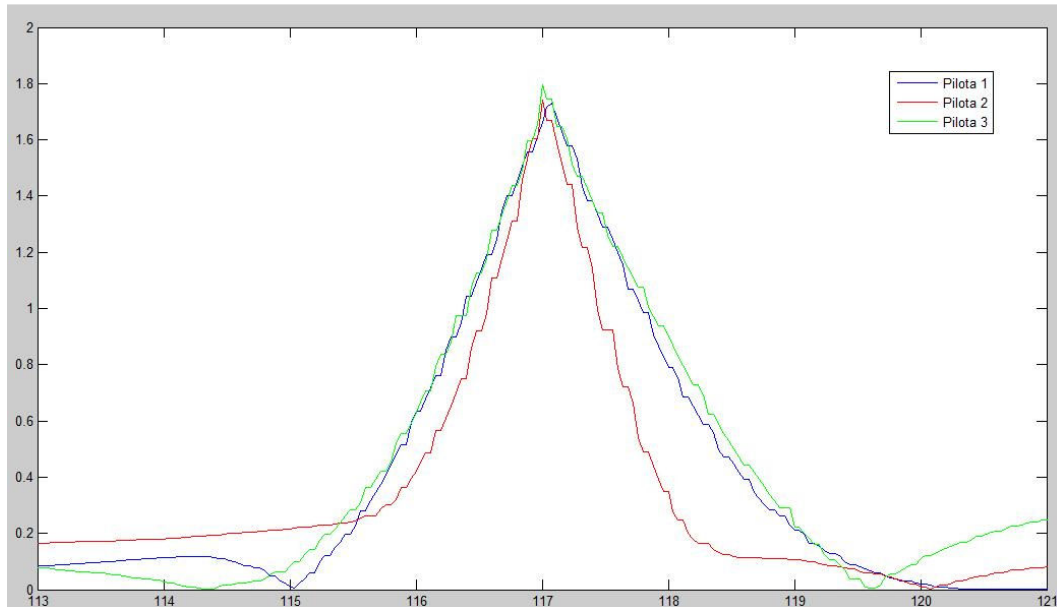


Figura 4.4: Sovrapposizione di tre manovre di cambio corsia.

A questo punto una precisazione è doverosa, le differenze riscontrate nei segnali, sinora, analizzati possono derivare anche dalla mancanza nella grafica di un ostacolo da evitare e ,quindi, la libera interpretazione, da parte di ogni conducente, della manovra da effettuare può essere la causa della diversità di azione sui comandi, ciò non toglie, comunque, che le differenze possano anche derivare da abitudini e “vizi” identificativi dello stile di guida di ogni conducente.

Percorso Autostradale e Extraurbano

In questo tipo di manovre è possibile analizzare le correzioni che un pilota fa per ottenere una guida quanto più rettilinea possibile.

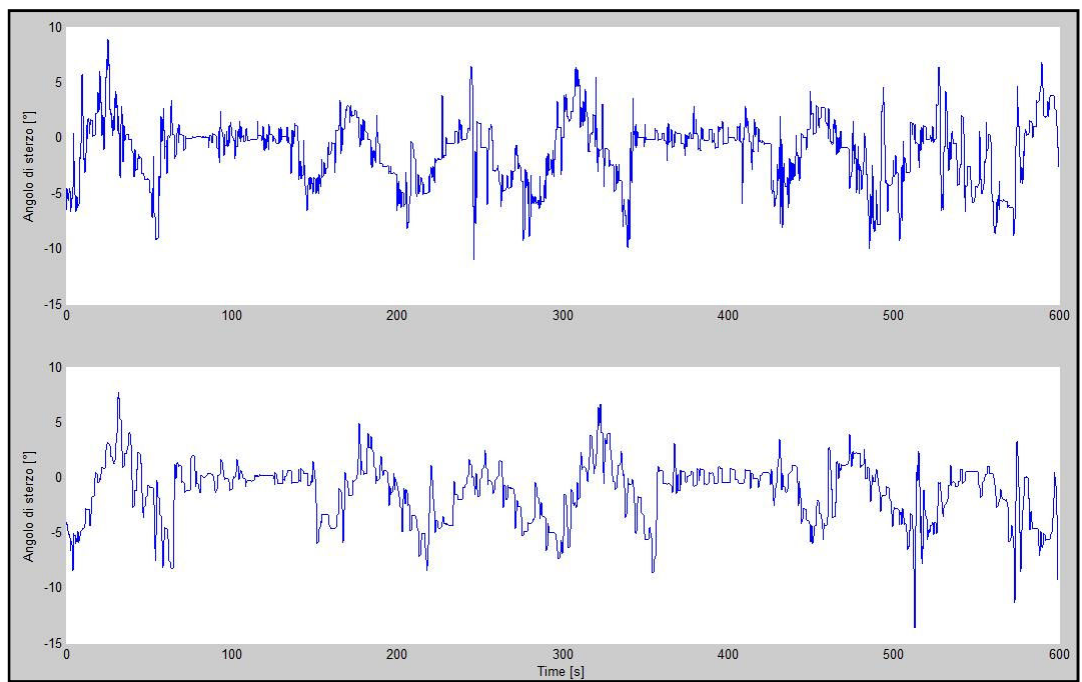


Figura 4.5: Angolo di sterzo.

5 CONCLUSIONI E SVILUPPI FUTURI

All'inizio del lavoro di tesi tutto il complesso simulatore veniva da un periodo di disservizio e si presentava scomposto nei suoi organi e non interfacciato ad alcun ambiente grafico, questo perché l'idea di sviluppare, presso il Dipartimento di Ingegneria Meccanica Nucleare e della Produzione dell'Università di Pisa, un simulatore di guida per analizzare lo stato di vigilanza di un conduttore di un autoveicolo risale a diversi anni fa (2005).

Grazie al maggiore interesse per la sicurezza attiva nei veicoli che l'Unione Europea ha esplicitamente dichiarato, si è potuto continuare ad elaborare il simulatore di guida per utilizzarlo come supporto per ottenere dati contenenti informazioni dello "stile" di guida di ogni conducente in relazione alle sue condizioni psico-fisiche.

Con la consapevolezza del periodo di inutilizzo, il primo approccio al simulatore ha richiesto un aggiornamento hardware della componentistica dei Pc, avendo un occhio di riguardo per quelle che erano le esigenze della grafica.

Al potenziamento computazionale si è affiancato successivamente lo sviluppo della postazione di guida sia per quel che riguarda sedile e volante che per quel che riguarda la sensorizzazione della pedaliera.

Per quel che riguarda lo sviluppo del modello matematico di veicolo, l'esigenza di avere un modello parametrico ha portato all'utilizzo di un modello basato sulla formulazione classica delle equazioni della dinamica a scapito di uno, che all'inizio di questo lavoro di tesi, era di riferimento.

Risolte le problematiche che il modello presentava, gli interventi sono stati mirati a diminuire il gap che una guida reale può avere rispetto a quella virtuale, in realtà molti blocchi del modello possono ancora essere migliorati ma proprio grazie allo sviluppo in moduli è possibile prevedere un aggiornamento a step. Il Pisa Simulator è quindi ancora un cantiere aperto, infatti, anche se non presentata nella relazione durante lo svolgimento dell'ultimo periodo di tesi si è anche fornito supporto al lavoro che porterà all'abbandono del ritorno di sterzo affidato all'utilizzo di molle lineari per introdurre un attuatore capace di fornire una diversa azione in funzione dei parametri generati dal modello. Questo dovrebbe portare a migliorare la sensazione di guida soprattutto se si pensa che il contributo che le molle lineari danno per piccoli angoli è ovviamente minimo.

Tutti gli interventi finora descritti hanno portato ad avere un simulatore con ottime prestazioni, ma per gli scopi a cui esso sarà destinato si necessitava di un dispositivo di gestione dati: il "Receiver". Il grado di automazione, la semplicità di utilizzo e la maneggevolezza dei dati da esso gestiti ne fanno un dispositivo di notevole utilità risultando indispensabile per qualsiasi attività di ricerca riguardante il simulatore.

Prima di chiudere è bene ancora ricordare che gli sviluppi a cui il simulatore può essere sottoposto sono molteplici alcuni di essi sono già programmati come il già citato ritorno attivo o la sensorizzazione del volante, altri invece possono essere oggetto di altri lavori di tesi e possono riguardare diversi componenti come ad esempio l'implementazione di una logica di ABS, ESP o qualsiasi altro dispositivo di assistenza alla guida, oppure intervenire sulla struttura hardware per implementare, con una piattaforma mobile, i moti di cassa del veicolo.

BIBLIOGRAFIA

1. Istat Incidenti stradali.
http://www.istat.it/salastampa/comunicati/non_calendario. [Online] 11
Dicembre 2007.
2. *Development of drowsiness detection system*. **Ueno, Kaneda e Tsukino**.
Yokohama, Japan : s.n., 1994. Conference on Vehicle Navigation and
Information Systems Conference. p. 15-20.
3. **Conceicao, Silva e Guerreiro**. *Early detection of drowsiness using a neuro-
fuzzy detector*. Universidade tecnica de Lisbona : Workshop BioMedics,
2002.
4. *A Drowsiness Detection System*. **Ogawa, et al**. Marzo, s.l. : Mitsubishi Electric
Advance, 1997, Vol. 78.
5. *Real Time Non-intrusive Monitoring and Prediction of Driver Fatigue* . **Zhu,
Zhiwei, Ji, Qiang e Lan, Peilin**. 5, 2002, Vol. 8.
6. *Critical evaluation of factors associated with steering wheel data whe used for
identifying driver drowsiness*. **Brekke e Sherman**. Aachen, Germany : s.n.,
1994. Advanced Transport Telematics.
7. *Evaluation of steering wheel measures for drowsy drivers*. **Elling e Sherman**.
1994. Advanced Transport Telematics.
8. *Drowsy drivers, steering data and random processes*. **Gabrielsen e Sherman**.
1994. Advanced Transport Telematics.
9. *Driver risk factors for sleep-releted crashes*. **Stutts, et al**. s.l. : Accident
Analysis and Prevention, 2003.

-
10. *Unobtrusive drowsiness detection by neural network learning of driver steering.* **Sayed, R. e Eskadarian, A.** n 9, s.l. : Journal of Automobile Engineering, 2001, Vol. 215.
 11. *Monotony of road environment and driver fatigue.* **Pierre, T. e Bergeron, J.** n 3, 2003 : Accident Analysis and Prevention, Vol. 35.
 12. *Preventing drowsiness accidents by alertness maintenance device.* **Verwey, Willem B. e Zaidel, David M.** n 3, s.l. : Accident Analysis and Prevention, 1999, Vol. 31.
 13. **Rimini, et al.** *Monitoring driver drowsiness and stress in a driving simulator.* Stuttgart, Germany : Corporate Research Division Robert Bosch GmbH.
 14. *Eye behaviour research enhances safety.* n°2, s.l. : Technology Magazine, 2002.
 15. *CAPC: A Road-Departure Prevention System.* **LeBlanc, D. J., et al.** s.l. : Control Systems Magazine, IEEE, 1996, Vol. 16.
 16. CISR: Center for Intelligent Systems Research. www.CISR.gwu.edu. [Online] The George Washington University - Virginia Campus.
 17. *An estimation of driver's drowsiness level using interval of steering adjustment for lane keeping.* **Fukuda, et al.** n 2, s.l. : JSAE Review, 1995, Vol. 16.
 18. *Driver Drowsiness Detection: An Approach.* **Moreno, et al.** s.l. : Proceedings of 27th ISATA conference, 1996.
 19. *Vehicle control and drowsiness.* **Kircher, Uddman e Sandin.** s.l. : Swedish National Road and Transport Research Institute, 2002. ISSN 0347-6049.
 20. **Corradi, Tommaso.** *Sviluppo di modelli dinamici di autoveicolo per simulatore di guida.* Pisa : Università degli Studi di Pisa - Facoltà di Ingegneria, 2005.
 21. **Malvasi, Alessandro.** *Sviluppo di un simulatore di guida di autoveicolo per studi di sicurezza preventiva.* Pisa : Università di Pisa, 2007.
 22. *Development of automotive real-time simulator for preventive safety studies.* **Frendo, Francesco, et al.** Stuttgart : Mathworks Automotive Conference, 2006.

-
23. *Sviluppo di un simulatore di guida di un autoveicolo.* **Mazzanti, Alessandra.**
Pisa : Università di Pisa, 2006.
24. **Company, Curtis-Write.** Geartronics.
<http://www.geartronics.co.uk/files/pennygiles280.pdf>. [Online] Penny &
Giles.
25. **Guiggiani, Massimo.** *Dinamica del veicolo.* Pisa : Città studi Edizione
Libreria Utet, 2002.
26. *The Influence of Tire Modelling in commercial vehicle simulation.* **Shapley,
C. G.**
27. **Heywood, John B.** *Internal Combustion Engine Fundamentals.* s.l. :
McGRAW-HILL INTERNATIONAL EDITIONS .

INDICE DELLE FIGURE

FIGURA 1.1: MORTI IN INCIDENTI STRADALI (BASE 2000=100).	9
FIGURA 1.2: INDICE DI MORTALITÀ PER GIORNO DELLA SETTIMANA.	11
FIGURA 1.3: INCIDENTI STRADALI E INDICE DI MORTALITÀ PER ORA DEL GIORNO.	12
FIGURA 1.4: PRINCIPIO DI FUNZIONAMENTO DELL'ESP.	15
FIGURA 1.5: CIRCUITO REGOLAZIONE ABS	16
FIGURA 1.6: FUNZIONAMENTO EBD.	17
FIGURA 1.7: CORREZIONI ANGOLO DI STERZO CON CONDUCENTE RIPOSATO E AFFATICATO	26
FIGURA 1.8: DISTRIBUZIONE PSD PER TRATTI DI STRADA MISTI.	27
FIGURA 1.9: ANALISI CORREZIONI IN RELAZIONE ALLA STRADA.	27
FIGURA 2.1: SCHEMA DI UN SIMULATORE.	30
FIGURA 2.2: SCHEMA BASE PER UN MODELLO DI VEICOLO.	31
FIGURA 2.3: CALCOLO CAMPO VISIVO DEL CONDUCENTE.	32
FIGURA 2.4: ESEMPIO DI VISUALE DI GUIDA.	33
FIGURA 2.5: SOLUZIONE A TRE SCHERMI.	35
FIGURA 2.6: CONFIGURAZIONE CON SCHERMO CILINDRICO	36
FIGURA 2.7: SOLUZIONE A SCHERMO CILINDRICO E VEICOLO INTERO.	37
FIGURA 2.8: SIMULATORE CON CAPSULA.	37
FIGURA 2.9: RIPRODUZIONE VIRTUALE DELL'ABITACOLO	38
FIGURA 3.1: SIMULATORE PRESSO IL DIMNP	40
FIGURA 3.2: SCHEMA LOGICO FUNZIONALE DEL SIMULATORE DI PISA.	41
FIGURA 3.3: SISTEMA DI STERZO TRW.	43
FIGURA 3.4: SCHEMA DI FUNZIONAMENTO DI UN SERVOSTERZO EPS.	44
FIGURA 3.5: SEZIONE DI UN SENSORE OTTICO.	44
FIGURA 3.6: ECU COLLEGATA AL SERVOSTERZO.	45
FIGURA 3.7: COLLEGAMENTO GENERATORE CORRENTE – BATTERIA - CENTRALINA.	45

FIGURA 3.8: COLLEGAMENTO CENTRALINA AL TARGET PC.	46
FIGURA 3.9: SCHEMA PER LA RICEZIONE E L'UTILIZZO DEI DATI DELLA CENTRALINA.	47
FIGURA 3.10: BLOCCO RIDUZIONE.	48
FIGURA 3.11: DIAGRAMMA DEL RAPPORTO DI RIDUZIONE.	48
FIGURA 3.12: PEDALIERA.	49
FIGURA 3.13: SCHEDA TECNICA DEI POTENZIOMETRI.	50
FIGURA 3.14: GEOMETRIA DEI POTENZIOMETRI.	51
FIGURA 3.15: NATIONAL INSTRUMENTS PCI-6052E.	52
FIGURA 3.16: SCHEMA A BLOCCHI PER LA GESTIONE DELLA PEDALIERA.	52
FIGURA 3.17: PARAMETRI DEL BLOCCO PCI-6052E	53
FIGURA 3.18: COLLEGAMENTO ALL'ALIMENTATORE DEI POTENZIOMETRI.	53
FIGURA 3.19: SEDILE.	55
FIGURA 3.20: TELAIO DI SUPPORTO AL SEDILE.	55
FIGURA 3.21: POSTAZIONE DI CONTROLLO	56
FIGURA 3.22: CARATTERISTICHE PROIETTORE.	57
FIGURA 3.23: SPECIFICHE TECNICHE SCHEDA GRAFICA.	58
FIGURA 3.24: ESEMPIO DI SCENARIO CON VEGA PRIME.	58
FIGURA 3.25: INVIO DATI ALLE STAZIONI DI GESTIONE DELLA GRAFICA.	59
FIGURA 3.26: CONFIGURAZIONE UDP SEND.	60
FIGURA 3.27: CONFRONTO TRA IL RIFERIMENTO VEGA PRIME E QUELLO VEICOLO.	62
FIGURA 3.28: SCHEMA BASE PER UN MODELLO MATEMATICO DI VEICOLO.	64
FIGURA 3.29: LIVELLO I DELLO SCHEMA A BLOCCHI DEL MODELLO A 14GDL.	65
FIGURA 3.30: BLOCCO "VELOCITÀ LONGITUDINALE".	67
FIGURA 3.31: BLOCCO "VELOCITÀ LATERALE".	67
FIGURA 3.32: BLOCCO "IMBARDATA".	68
FIGURA 3.33: BLOCCO "BECCHEGGIO".	68
FIGURA 3.34: BLOCCO "ROLLIO".	69
FIGURA 3.35: BLOCCO "ROLLIO ASSALE ANTERIORE".	70
FIGURA 3.36: BLOCCO "ROLLIO ASSALE POSTERIORE".	71
FIGURA 3.37: BLOCCO "SCUOTIMENTO".	71
FIGURA 3.38: BLOCCO "SCUOTIMENTO ASSALE ANTERIORE".	72
FIGURA 3.39: BLOCCO "SCUOTIMENTO ASSALE POSTERIORE".	72
FIGURA 3.40: BLOCCO "TRASFERIMENTO DI CARICO".	73
FIGURA 3.41: BLOCCO "TRASMISSIONE".	74
FIGURA 3.42: CILINDRO EMULATORE PEDALE DEL FRENO.	75
FIGURA 3.43: LOOKUP TABLE PER SEGNALE DEL FRENO.	76

FIGURA 3.44: BLOCCO “IMPIANTO FRENANTE”.	76
FIGURA 3.45: EQUILIBRIO RUOTA MARCIA AVANTI.	77
FIGURA 3.46: EQUILIBRIO RUOTA RETROMARCIA.	77
FIGURA 3.47: BLOCCO “EQUILIBRIO DINAMICO RUOTE”.	78
FIGURA 3.48: BLOCCO “INERZIA RUOTA TOTALE”.	79
FIGURA 3.49: BLOCCO “DISTANZA CENTRO RUOTA-TERRENO”.	80
FIGURA 3.50: SISTEMA DI RIFERIMENTO RUOTA.	81
FIGURA 3.51: FORZA LONGITUDINALE IN FUNZIONE DELLO SCORRIMENTO.	83
FIGURA 3.52: BLOCCO “SCORRIMENTO LONGITUDINALE”.	84
FIGURA 3.53: BLOCCO “SCORRIMENTI LATERALI”.	84
FIGURA 3.54: BLOCCO “SCORRIMENTI TOTALI”.	84
FIGURA 3.55: VELOCITÀ CENTRO RUOTA.	85
FIGURA 3.56: VELOCITÀ CENTRO RUOTA LONGITUDINALE (RUOTA11).	86
FIGURA 3.57: VELOCITÀ CENTRO RUOTA LATERALE (RUOTA11).	86
FIGURA 3.58: BLOCCO “MODELLO PNEUMATICO”.	87
FIGURA 3.59: FORZA RUOTA-TERRENO LONGITUDINALE E TRASVERSALE.	88
FIGURA 3.60: COPPIA MOTORE.	89
FIGURA 3.61: BLOCCO “VELOCITÀ ANGOLARE MOTORE”.	90
FIGURA 3.62: BLOCCO “COPPIA RESISTENTE”.	91
FIGURA 3.63: BLOCCO “MOTORE”.	92
FIGURA 3.64: SCHEMA FRIZIONE CENTRIFUGA.	93
FIGURA 3.65: COPPIA FRIZIONE.	94
FIGURA 3.66: BLOCCO FRIZIONE.	94
FIGURA 3.67: BLOCCO “MODELLO DI MOTORE”.	95
FIGURA 3.68: BLOCCO “MOTORE PRIMA DELL’INNESTO”.	95
FIGURA 3.69: BLOCCO “TRAJETTORIA”.	97
FIGURA 3.70: SISTEMI DI RIFERIMENTO E ANGOLI CARATTERISTICI.	101
FIGURA 3.71: I ROAD POINT.	102
FIGURA 3.72: SCHERMATA PRINCIPALE DEL RECEIVER.	103
FIGURA 3.73: I LIVELLO DEL RECIEVER.	104
FIGURA 3.74: CONFIGURAZIONE UDP RECEIVER.	105
FIGURA 3.75: BLOCCO 100HZ.	106
FIGURA 3.76: BLOCCO 50HZ.	107
FIGURA 3.77: RICEZIONE DLM.	107
FIGURA 3.78: STOP SIMULATION.	108
FIGURA 3.79: CONTATORE.	108

FIGURA 3.80: BLOCK PROPERTIES.	109
FIGURA 3.81: PROCEDURA SALVATAGGIO.	110
FIGURA 4.1: POSIZIONE DELL'ACCELERATORE E DEL FRENO.	114
FIGURA 4.2: ACCELERAZIONE E ARRESTO.	115
FIGURA 4.3: MANOVRA DI CAMBIO CORSIA.	116
FIGURA 4.4: SOVRAPPOSIZIONE DI TRE MANOVRE DI CAMBIO CORSIA.	117
FIGURA 4.5: ANGOLO DI STERZO.	118

INDICE DELLE TABELLE

TABELLA 1.1: INCIDENTI STRADALI, MORTI E FERITI.	8
TABELLA 1.2: INCIDENTALITÀ SECONDO L'AMBITO STRADALE.	9
TABELLA 1.3: INCIDENTALITÀ SU RETE EXTRA URBANA SECONDO IL TIPO DI STRADA.	10
TABELLA 1.4: INCIDENTI STRADALI E MORTI – DATI MENSILI.	10
TABELLA 1.5: INCIDENTI, MORTI E FERITI PER GIORNO DELLA SETTIMANA.	11
TABELLA 1.6: INCIDENTI, MORTI E FERITI PER ORA DEL GIORNO.	12
TABELLA 1.7: CAUSE ACCERTATE O PRESUNTE DI INCIDENTE STRADALE.	13
TABELLA 1.8: CONFRONTO TRA I SISTEMI DI MONITORAGGIO INTRUSIVI.	23
TABELLA 1.9: CONFRONTO TRA I SISTEMI DI MONITORAGGIO NON INTRUSIVI.	24
TABELLA 3.1: PARAMETRI “RANGE VECTOR”.	54
TABELLA 3.2: PARAMETRI NECESSARI ALLE STAZIONI GRAFICHE.	61
TABELLA 3.3: DATI INVIATI DAL TARGET PC ALL'HOST PC	100
TABELLA 3.4: STRUTTURA DATI.	111